

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель:

**Голенков В.А.** д.т.н., проф.

Зам. председателя:

**Борзенков М.И.** к.т.н., доц.**Гордон В.А.** д.т.н., проф.**Колчунов В.И.** акад. РААСН, д.т.н., проф.**Константинов И.С.** д.т.н., проф.**Одолеева М.В.****Поландова Л.И.****Радченко С.Ю.** д.т.н., проф.**Садков В.Г.** д.э.н., проф.**Светкин В.В.** к.т.н., доц.**Снежко О.А.** к.т.н., доц.**Степанов Ю.С.** д.т.н., проф.**Фролова Н.А.** к.социол.н., доц.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор:

**Колчунов В.И.** акад. РААСН, д.т.н., проф.

Зам. главного редактора:

**Гончаров Ю.И.** д.т.н., проф.**Коробко В.И.** д.т.н., проф.**Ушаков Л.С.** д.т.н., проф.

Члены редколлегии:

**Бондаренко В.М.** акад. РААСН, д.т.н., проф.**Зорин В.А.** д.т.н., проф.**Карпенко Н.И.** акад. РААСН, д.т.н., проф.**Колесникова Т.Н.** к.арх., проф.**Коробко А.В.** д.т.н., проф.**Король Е.А.** чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.**Меркулов С.И.** д.т.н., проф.**Новиков А.Н.** д.т.н., проф.**Ольков Я.И.** акад. РААСН, д.т.н., проф.**Римшин В.И.** чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.**Северюгина Н.С.** к.т.н., доц.**Сертик И.Н.** д.т.н., проф.**Федоров В.С.** чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.

Отв. секретарь:

**Никулин А.И.** к.т.н., доц.

Зам. отв. секретаря:

**Данилевич Д.В.** к.т.н., доц.

Технический секретарь:

**Блинников Е.А.**

Компьютерная верстка:

**Солопов С.В.**

## АДРЕС РЕДАКЦИИ СЕРИИ

302020, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29.

Факультет транспорта и строительства.

Редколлегия журнала Известия ОрелГТУ.

Серия «Строительство. Транспорт».

тел.: (4862) 41-98-05, 76-29-94;

факс: (4862) 43-92-41; e-mail: antc@ostu.ru

Зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации.

Свидетельство: **ПИ № 77-15496** от 20 мая 2003 г.

Формат 69×90/8. Печать ризография. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8,5. Тираж 500 экз.

Подписной индекс **86294** по каталогу «ПРЕССА РОССИИ»

© ОрелГТУ, 2007

## Серия

## «Строительство. Транспорт»



## СОДЕРЖАНИЕ

## • ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Балабин Ю.А.** К расчету ширины раскрытия нормальных трещин в железобетонных балках при вибрационном нагружении..... 3
- Калошина С.В., Пономарев А.Б.** Наиболее значимые факторы строительства при возведении зданий в стесненных условиях..... 7
- Коробко В.И., Алдушкин Р.В., Морозов С.А.** Рациональное усиление металлических балок преднапряжением затяжки..... 11
- Коробко В.И., Турков А.В., Юров А.П., Гвозков П.А., Алдушкин Р.В.** Экспертиза промышленной безопасности дымовых труб: опыт обследования в Орловской области..... 15
- Поварова И.Б.** Исследование критической нагрузки при больших перемещениях пологой складчатой оболочки..... 20
- Сокотущенко В.Н.** Зависимость чисел Фурье и Пекле от отношения толщины цилиндрической оболочки к радиусу в задаче распространения теплового поля вдоль образующих цилиндра..... 24
- Турков А.В., Гвозков П.А.** Анализ работы составной балки при усилении строительных конструкций..... 26
- Федоров В.С., Фам Фук Тунг, Колчунов В.И.** Расчет ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях при центральном растяжении с учетом эффекта нарушения сплошности..... 29

## • БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

- Данилевич Д.В., Бакаева Н.В.** К анализу фактического состояния уровня электробезопасности на объектах учреждений высшего профессионального образования..... 34
- Никулин А.И., Короткий Г.П., Юшкова О.Н.** Опыт США в разработке рекомендаций по обеспечению безопасности образовательных учреждений при террористических атаках..... 37
- Никулина О.М.** О возможности применения рыночно-ориентированного подхода к выбору комплекса мероприятий по обеспечению необходимого уровня безопасности среды обитания образовательных учреждений..... 40

## • АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

- Волкова Л.А.** Пути повышения визуальных качеств производственной среды города..... 44
- Колесникова Т.Н.** Современные особенности градостроительного размещения тепличных предприятий в структуре поселений..... 46

• **СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ**

|   |    |
|---|----|
| Александров Е.Н., Козлов Ю.Д. Эффективная технология производства стеклопластиковых труб.....   | 49 |
| Барбаныгрэ В.Д., Хомченко Ю.В. Механоактивация известково-кремнеземистой суспензии для прессованных автоклавных материалов.....   | 51 |
| Гончаров Ю.И., Солопов С.В., Король С.П., Костенецкий Д.А., Лопухов С.Б. Некоторые аспекты получения керамики различной цветовой гаммы.....   | 55 |
| Мясникова С.А., Шорин В.А. Разработка и исследование материалов на основе металлургических шлаков в сочетании с модифицированными битумами и битумополимерными вяжущими.                                    | 62 |
| Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З. Влияние содержания и дисперсности добавок молотой отработанной формовочной смеси на нормальную плотность и сроки схватывания теста композиционного шлакощелочного вяжущего..... | 66 |
| Реутов А.А., Эманов С.Л. Влияние образования блока на сохранность транспортного пакета силикатного кирпича.....   | 70 |
| Саенко С.С. О сохранении качества вяжущего в рабочем котле АБЗ  | 74 |
| Степанова М.П., Шелковникова Т.И., Черкасов С.В., Адоньева Л.Н. Исследование влияния уплотняющего усилия на свойства сырца и керамического черепка.....   | 78 |
| Цебоева Т.К., Акчурин Т.К. Облицовочные плиты из мелкозернистого бетона на основе бесклинкерного вяжущего   | 80 |

• **АВТОМОБИЛИ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕРВИС И РЕМОНТ**

|   |     |
|---|-----|
| Бакаева Н.В. Состояние и перспективы развития парка легковых автомобилей г. Орла.....   | 85  |
| Живов С.В. Результаты практической реализации методики оптимизации периодичности технического обслуживания легковых автомобилей-такси.....              | 89  |
| Жуков В.В. Теоретическое обоснование необходимой толщины МДО-покрытий при производстве и ремонте корпусных деталей ДВС автомобилей.....                 | 94  |
| Новиков А.Н., Чикулаева В.В., Нахалов А.М. Исследование процесса очистки отработанных моторных масел.....   | 98  |
| Сычугов О.А. Повышение надежности определения пропускной способности автомобильной дороги на основе теории риска.....                                   | 101 |
| Тихомиров А.Н., Микрин В.И. Оптимизация транспортных потоков при эксплуатации транспортной сети.....  | 106 |
| Божанов А.А., Гальянов И.В. Травматизм со смертельным и тяжелым исходом при эксплуатации самоходных погрузчиков в агропромышленном производстве РФ..... | 111 |

**ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

УДК 624.012:45

Канд. техн. наук, доц. Ю.А. Балабин  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел

**К РАСЧЕТУ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ НОРМАЛЬНЫХ  
ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ ПРИ  
ВИБРАЦИОННОМ НАГРУЖЕНИИ**

Совместная работа арматуры и бетона в составе железобетонных конструкций возможна за счет их надежного сцепления. В стадии эксплуатации конструкции работают, как правило, с трещинами в растянутых зонах, что впоследствии вызывает неравномерность распределения напряжений и деформаций арматуры по ее длине. В различных источниках указанный эффект трактуется как частичная потеря сцепления арматуры и бетона на участках, прилегающих к берегам трещин. Впервые на указанный эффект обратил внимание проф. В.И. Мурашев, создав теорию расчета железобетонных конструкций с учетом трещиностойкости на основе феноменологических и эмпирических представлений о работе двух различных по физическим свойствам материалов. Результаты этих исследований, получившие развитие в работах Ю.П. Гущи, А.С. Залесова, Н.М. Мулина и др., были внесены в действующие нормы проектирования [1]. Однако предложенная полуэмпирическая зависимость для расчета ширины раскрытия трещин адаптирована только к использованию при статическом действии нагрузки и не позволяет выполнить оценку ширины раскрытия трещин в конструкциях, подверженных циклическим и вибрационным динамическим нагрузкам продолжительного действия. В данной статье рассматривается один из возможных подходов к оценке ширины раскрытия трещин при продолжительном действии вибрационных нагрузок.

Как показывают результаты экспериментов различных авторов, процесс трещинообразования имеет многоуровневый характер. Важно отметить, что момент трещинообразования в железобетонных конструкциях наступает сравнительно рано, задолго до наступления предельного состояния по нарушению несущей способности (стадия разрушения). Стадия стабилизации процесса трещинообразования характеризуется разделением железобетонного элемента системой нормальных трещин на блоки близкие по своему размеру ( $\ell_{crc}$ ), и дальнейшее развитие трещин по высоте и ширине происходит в местах сопряжений указанных блоков, связанных между собой сжатой зоной бетона и растянутой арматурой. Рассматриваемая модель железобетонного элемента предложена Е.Н. Пересыпкиным [2] и получила название «блочной». На основании физических представлений о характере напряженно-деформированного состояния блока считается, что основное влияние нагрузка рассматриваемого характера оказывает на деформативные и прочностные характеристики бетона как в сжатой, так и в растянутой зонах изгибаемого железобетонного элемента, что в дальнейшем учитывается соответствующим изменением «временного» модуля деформации [3].

Построение расчетного аппарата выполним на основании следующих исходных предпосылок:

– анализ изменения ширины раскрытия трещин ведем по сечению, расположенному между двумя смежными блоками фиксированной длины  $\ell_{crc} = \ell_{crc,m}$ , в стадии стабилизации процесса трещинообразования;

– развитие пластических деформаций виброползучести (циклической ползучести) бетона в рассматриваемых сечениях учитывается коэффициентом виброползучести, вводимым к мере статической ползучести бетона [3], на основании принципа, основанного на аффинном подобии кривых ползучести при статическом и статико-вибрационном режимах нагружения;

– считается, что напряжения в арматуре не превышают предела пропорциональности;

– бетон растянутой зоны сечения с трещиной не работает.

На основании отмеченного смещения арматуры относительно бетона представим в виде раз-

ности относительных деформаций арматуры  $\varepsilon_s$  и бетонов  $\varepsilon_{bt}$  в сечениях с текущей координатой  $x$  в пределах блока между смежными трещинами (рис. 1):

$$\varepsilon_g(x, t) = \varepsilon_s(x) - \varepsilon_{bt}(x, t), \quad (1)$$

$$\text{где } \varepsilon_s(x) = \varepsilon_s(0) - \frac{T(x)}{E_s A_s}; \quad \varepsilon_{bt}(x, t) = \frac{W_{t,int}}{W_{t,ext}} \frac{T(x)}{E_{bt}(t, t_0) A_{bt}}. \quad (2)$$

Здесь  $W_{t,int}/W_{t,ext}$  – отношение моментов сопротивления растянутых зон изгибаемого железобетонного элемента относительно оси, проходящей через центр тяжести сжатой зоны бетона соответственно в среднем сечении блока между смежными трещинами и в сечении с трещиной;  $T(x)$  – равнодействующая усилий, передаваемых с арматуры по ее периметру  $u_s$  на бетон за счет сил сцепления ( $T(x) = u_s \int_0^x \tau(x) dx$ );  $E_s$ ,  $A_s$  – модуль упругости и площадь сечения растянутой арматуры;  $E_{bt}(t, t_0)$ ,  $A_{bt}$  – модуль деформации бетона при растяжении и площадь бетона растянутой зоны изгибаемого железобетонного элемента.

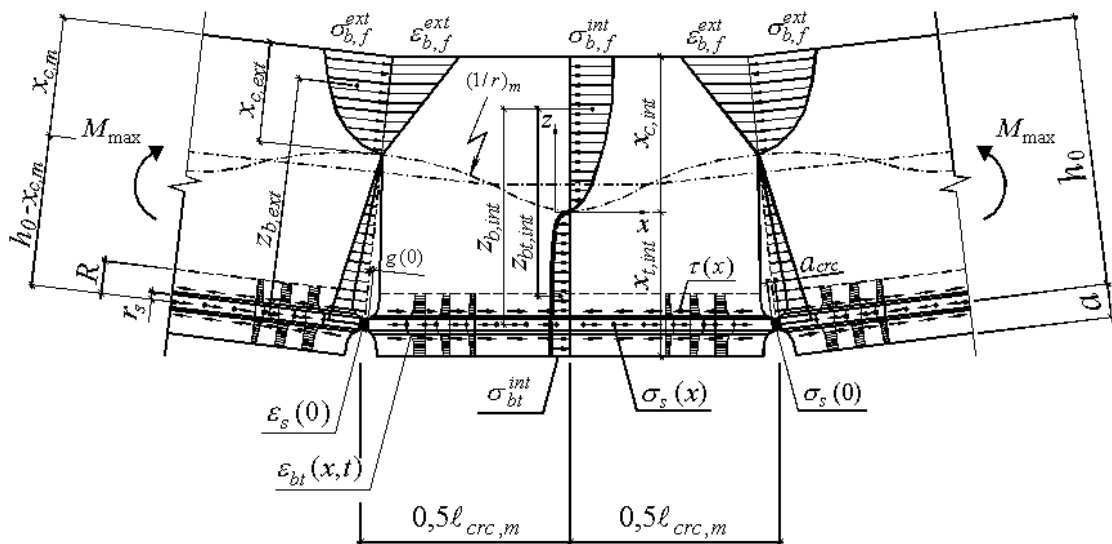


Рис. 1. Схема напряженно-деформированного состояния железобетонного элемента в стадии с трещинами на уровне максимальной нагрузки цикла

Количественные изменения модуля деформаций бетона во времени, названного С.Е. Фрайфельдом «временным» модулем деформации, определим с использованием выражения, предложенного проф. В.М. Бондаренко [3]:

$$E_{bt}(t, t_0) = \frac{E_b^0(t)}{1 + E_b^0(t) K_{ver} A_t(t, t_0)} \quad (3)$$

или, учитывая изменение модуля упруго-мгновенных деформаций бетона с возрастом  $E_b^0(t)$  в соответствии с предложением Н.Х. Арутюняна [4], выражение (3) перепишем в виде:

$$E_{bt}(t, t_0) = \frac{E_b^0(\infty)(1 - \beta e^{-\alpha t})}{1 + E_b^0(\infty)(1 - \beta e^{-\alpha t}) K_{ver} A_t(t, t_0)}. \quad (4)$$

Здесь

$$A_t(t, t_0) = C_{bt}^*(t_0, t_0) + \int_{t_0}^t \frac{\sigma(\tau)}{\sigma(t)} \frac{\partial}{\partial \tau} C_{bt}^*(t, \tau) d\tau, \quad (5)$$

где  $\alpha, \beta$  – параметры, отвечающие за скорость нарастания модуля упруго-мгновенных деформаций бетона во времени;  $E_b^0(\infty)$  – предельное (асимптотическое) значение модуля упруго-

мгновенных деформаций в момент времени  $t \rightarrow \infty$ ;  $C_{bt}^*(t_0, t_0)$ ,  $C_{bt}^*(t, \tau)$  – меры быстронатекающей (кратковременной) и простой (статической) ползучести, полученные при растяжении;  $K_{vcr}$  – коэффициент виброползучести бетона, учитывающий интенсификацию деформаций бетона при циклическом нагружении.

С учетом (2) – (5) представим выражение (1) в развернутом виде:

$$\varepsilon_g(x, t) = \frac{\sigma_s}{E_s} - \frac{u_s}{E_s A_s} \left[ 1 + \mu_{st} \alpha_m \frac{W_{t,int}}{W_{t,ext}} \frac{1 + E_b^0(t) K_{vcr} A_t(t, t_0)}{1 - \beta e^{-\alpha t}} \right] \int_0^x \tau(x) dx, \quad (6)$$

где  $\alpha_m = E_s / E_b^0(\infty)$  – коэффициент приведения арматуры к бетону;  $\mu_{st}$  – коэффициент армирования растянутой зоны железобетонного элемента при изгибе, подсчитанный для среднего сечения расчетного блока между трещинами.

Следует отметить, что напряженно-деформированное состояние контакта арматуры и бетона является достаточно сложным: происходит смещение арматуры относительно бетона, депланация поперечных сечений бетона в околоарматурной зоне (см. рис. 1), развиваются стесненные арматурой пластические деформации в бетоне, и возникают внутренние трещины. Указанные обстоятельства существенно усложняют расчет и требуют проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований. Как показано в работе [5], при решении задач, связанных с расчетом ширины раскрытия трещин, в первом приближении с достаточной степенью точности может быть использован «условный закон сцепления», на основании которого величина касательных напряжений в сечении  $x$  определяется непосредственно на поверхности контакта «арматура – бетон», что позволяет выполнить оценку величины соответствующих им деформаций сдвига  $g(x)$  арматуры относительно поверхности бетона.

В силу отмеченного между касательными напряжениями сцепления и взаимными смещениями арматуры и бетона принимается прямая пропорциональная зависимость [5]:

$$\tau(x) = G_b^0(t) \varepsilon_g(x, t), \quad (7)$$

где  $G_b^0(t)$  – модуль сдвига определим выражением вида:

$$G_b^0(t) = E_b^0(t) / [2(1 + \nu)]. \quad (8)$$

Задав коэффициент Пуассона для бетонов  $\nu = 0,2$ , в первом приближении можно считать  $G_b^0(t) = 0,42 E_b^0(t)$ .

Подставляя (7) в выражение (6) и дифференцируя один раз по  $x$ , после преобразований получим однородное линейное дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\varepsilon_g(x, t)}{dx} + \frac{G_b^0(t) u_s}{E_s A_s} \left[ 1 + \mu_{st} \alpha_m \frac{W_{t,int}}{W_{t,ext}} \frac{1 + E_b^0(t) K_{vcr} A_t(t, t_0)}{1 - \beta e^{-\alpha t}} \right] \varepsilon_g(x, t) = 0. \quad (9)$$

Для упрощения записи введем обозначение:

$$B = \frac{G_b^0(t) u_s}{E_s A_s} \left[ 1 + \mu_{st} \alpha_m \frac{W_{t,int}}{W_{t,ext}} \frac{1 + E_b^0(t) K_{vcr} A_t(t, t_0)}{1 - \beta e^{-\alpha t}} \right]. \quad (10)$$

Здесь значения геометрических характеристик, входящих во второе слагаемое выражения (10) с учетом введенных предпосылок, могут быть определены в виде:

$$W_{t,ext} = \alpha_m A_s z_{b,ext}; \quad W_{t,int} = A_{bt,int} z_{bt,int} + k_\alpha \alpha_m A_s z_{b,int}; \quad (11)$$

$$k_\alpha = \eta \frac{\sigma_{bt,u}(\varepsilon_{bt}, t)}{\eta_R(t, t_0) R_{bt,ser}(t)}, \quad (12)$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий максимальный относительный уровень напряженного состояния бетона перед зарождением новой трещины  $\sigma_{bt,u} / R_{bt,ser}$  на уровне растянутой арматуры по блоку между смежными трещинами ( $\eta < 1$ );  $\sigma_{bt,u}(\varepsilon_{bt}, t)$  – предельное значение напряжений в крайнем растянутом волокне бетона при изгибе в момент времени  $t$ ;  $R_{bt,ser}(t)$  – расчетное сопротивление бетона на осевое растяжение при кратковременном действии нагрузки;  $\eta_R(t, t_0)$  – коэффициент, учитывающий влияние режима и длительности нагружения.

Решение дифференциального уравнения (9), как известно [6], имеет вид:

$$\varepsilon_g(x, t) = \psi e^{-Bx}, \quad (13)$$

где  $\psi$  – произвольная постоянная, определяемая из условия равенства нулю деформаций бетона на берегах трещины.

$$\text{Т.е. при } e^{-Bx} = 1: \varepsilon_g = \psi = \varepsilon_{s, crc}, \text{ имеем: } \varepsilon_g(x, t) = \frac{\sigma_s}{E_s} e^{-Bx}. \quad (14)$$

Тогда ширина раскрытия трещин будет определяться величиной удвоенного суммарного смещения арматуры  $g(0)$  относительно бетона по длине зоны условной анкеровки ( $\ell_{crc}/2$ ), полученного в двух смежных полублоках:

$$a_{crc}(t) = 2 \frac{\sigma_s}{E_s} \int_0^{\ell_{crc}/2} e^{-Bx} dx, \text{ или } a_{crc}(t) = 2 \frac{\sigma_s}{E_s} \frac{1}{B} \left[ 1 - \frac{1}{e^{-(B\ell_{crc}/2)}} \right]. \quad (15)$$

## Выводы

Построенный расчетный аппарат на основе «условного закона сцепления» требует дальнейшей экспериментальной проверки и может быть использован при расчете ширины раскрытия трещин в изгибаемых железобетонных элементах как при статическом приложении нагрузки, так и в присутствии вибрационного пригруза. Однако дополнительного анализа потребует количественная оценка мер ползучести  $C_{bt}^*(t, \tau)$ , входящих в реологическое уравнение механического состояния материала, и исследование влияния масштабного фактора на изменение прочности бетона при растяжении и изгибе.

## Литература

1. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст] / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 76 с.
2. Пересыпкин, Е.Н. Расчет стержневых железобетонных элементов [Текст] / Е.Н. Пересыпкин. – М.: Стройиздат, 1988. – 169 с.
3. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 287 с.
4. Арутюнян, Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести [Текст] / Н.Х. Арутюнян. – М. - Л.: Гостехиздат, 1952. – 324 с.
5. Построение расчетного аппарата для вычисления ширины раскрытия трещин в элементах железобетонных конструкций [Текст] / Л.М. Городецкий, В.И. Скатынский, Л.Н. Шевелева // Строительные конструкции. Вып. XVII. – Киев: Будивельник, 1971. – С. 8 - 18.
6. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн // Перевод с англ. под ред. И.Г. Арамановича – М.: Наука, 1968. – 720 с.

Асп. С.В. Калошина, докт. техн. наук, проф. А.Б. Пономарев  
(Пермский государственный технический университет)  
Россия, г. Пермь

## НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ФАКТОРЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Производство работ при возведении зданий и сооружений в стесненных условиях по сравнению со строительством на свободных от застройки территориях имеет ряд особенностей, обусловленных непосредственной близостью к возводимым зданиям существующих. Как известно, в результате нового строительства существующие здания получают дополнительные деформации, критерий допустимости которых, согласно [1], записывается в следующем виде:

$$\sum_{i=0}^n S_{ad}^i \leq S_{adu},$$

где  $S_{ad}^i$  - значение дополнительной деформации (осадки, относительной разности осадки, крена), сохраняемой конструкцией объекта реконструкции и/или соседней застройкой вследствие воздействия  $i$ -го техногенного фактора, связанного со статическим нагружением (разгрузкой) основания либо технологией работ;  $n$  - количество таких факторов, которые возникают на следующих этапах ведения строительных работ:

1. при устройстве ограждения котлована;
2. при разработке котлована и/или устройстве фундамента нового здания;
3. при передаче нагрузки на основание от веса возводимого здания.

Первые два пункта напрямую связаны с технологией ведения работ, неправильный выбор которой может привести к недопустимым деформациям существующего здания. Примером тому может служить административное здание, расположенное по ул. Коммунистическая, 53 в г. Перми, которое в результате неверной технологии устройства свайных фундаментов рядом возводимого здания, а также ошибок при устройстве шпунтовой стенки и строительного водопонижения получило неравномерную осадку, что повлекло за собой образование многочисленных вертикальных и наклонных трещин со сдвижкой строительных элементов (рис. 1).

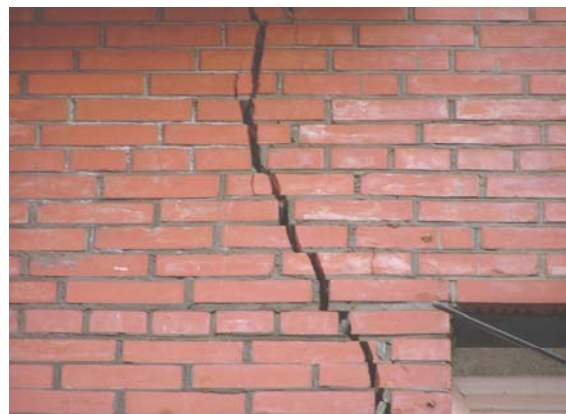


Рис. 1. Развитие вертикальных и наклонных трещин вследствие неравномерной осадки

Данный пример свидетельствует о том, насколько важно не ошибиться в технологии ведения работ нулевого цикла, выбор которой во многом обусловлен геологическими условиями строительной площадки. В таблице 1 на основе комплексного анализа соответствующей нормативной литературы представлены рекомендации по производству работ нулевого цикла для различных типов грунтовых оснований.

Помимо технологических факторов при строительстве в стесненных условиях необходимо учитывать конструктивные особенности существующих зданий и категорию их технического состояния [5]. Здания, относящиеся к различным по времени периодам строительства и имеющие различные конструктивные схемы, будут по-разному вести себя при соседнем строительстве. Так, в [6] регламентируются предельные допустимые ускорения колебаний фундаментов существующих зданий в результате технологических воздействий нового строительства в зависимости от конструктивной схемы существующих зданий, состояния конструкций этого здания и типа грунта (табл. 2).

Таблица 1

*Особенности производства работ нулевого цикла  
 в зависимости от типа грунтового основания*

| Тип грунтового основания    | Степень уплотняемости грунта | Водопроницаемость грунтового массива | Механизм уплотнения грунта   | Особенности основания, слагаемого данным видом грунта  | Особенности производства работ нулевого цикла  |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|
| Песчаные, супесчаные грунты | Уплотняющиеся грунты         | Водопроницаемые грунты               | Структурные связи между частицами грунта отсутствуют. Уплотнение грунта осуществляется за счет изменения объема пор при сжатии. Плотные пески и пески средней плотности под давлением уплотняются незначительно. Рыхлые пески интенсивно уплотняются под воздействием фильтрующей воды и с помощью вибраторов. | Слабопучинистые и непучинистые грунты. В большинстве случаев песчаные грунты являются хорошим основанием зданий и сооружений. Водонасыщенные рыхлые пески обладают тиксотропными свойствами. | При наличии в основании существующих зданий и сооружений водонасыщенных песков применение забивки свай и шпунта не рекомендуется, если удаленность здания от места забивки менее 30 м. (п. 9.7 [2]). При ограждениях из бурозавинчиваемых свай устройство буровых лидерных скважин в песчаных, особенно водонасыщенных песках для облегчения их завинчивания не допускается, если при устройстве таких скважин возможно оплывание грунтов из-под фундаментов существующих зданий (п. 9.23 [2]). На участках, сложенных водонасыщенными рыхлыми песками, уместно применение свай, погружаемых вдавливанием, а также буронабивных свай. В водонасыщенных рыхлых песках применение глубинного водоотлива при наличии зданий |



|  |                                    |  |   |   |   |
|--|------------------------------------|--|---|---|---|
|  |                                    |  |   |   | возле котлована нежелательно, т. к. понижение УПВ на длительный период времени вызывает уплотнение грунта при снятии взвешивающего действия воды и развитие дополнительной неравномерной осадки [3].  |
| Маловлажные связные грунты (суглинистые грунты, глины)   | Частично уплотняющиеся грунты      | Слабоводопроницаемые, неводопроницаемые грунты | Уплотнение грунта в основном происходит за счет сокращения объема пор, заполненных воздухом.  | При нарушении структуры грунта резко снижаются показатели прочностных свойств основания.  | При наличии глинистых грунтов недопустимо применение вдавливаемых свай (п. 3.30 [4]).   |
| Водонасыщенные глинистые и слабые грунты (заторфованные) | Практически неуплотняющиеся грунты | Слабоводопроницаемые, неводопроницаемые грунты | Уплотнение водонасыщенного грунта происходит за счет уменьшения его пористости и влажности. Отжатие воды из грунта оказывается возможным лишь при ее высвобождении из пор, которое происходит только при нарушении структурных связей. Упрочнение грунта возможно лишь по мере оттока жидкой фазы, что сопровождается восстановлением структурных связей. | Обладают большой пучинистостью при промерзании. Заторфованные грунты обладают большой сжимаемостью и малой прочностью. При воздействии вибрации прочность грунтов снижается (тиксотропные свойства). Наблюдается резкое изменение свойств грунтов при технологических воздействиях. | При разработке котлована ниже подошвы существующего фундамента применение ограждающего шпунта обязательно. Шпунт рассчитывается не только по устойчивости, но и по деформациям. При наличии в основании существующих зданий и сооружений торфов, глинистых грунтов текучей консистенции применение забивки свай и шпунта не рекомендуется, если удаленность здания от места забивки менее 30 м (п. 9.7 [2]). Для возможности погружения свай в этих грунтах вблизи зданий и сооружений во избежание появления го- |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  | <p>ризонгальных сме-<br/>щений фундамен-<br/>тов рекомендуется<br/>прибегать к устрой-<br/>ству лидерных<br/>скважин по специ-<br/>альному проекту<br/>(п. 9. 12 [2]).</p> |
|--|--|--|--|--|--|

Таблица 2

*Допустимый уровень колебаний фундаментов существующих зданий*

| Сооружения и их конструктивные особенности                         | Категория со-<br>оружений по<br>состоянию | Предельные допус-<br>каемые ускорения<br>колебаний фунда-<br>ментов в зависимо-<br>сти от группы грун-<br>тов оснований, м/с <sup>2</sup> |     |     |
|--|---|---|-----|-----|
|  |   | 1-я   | 2-я | 3-я |
| Производственные и гражданские<br>здания с полным каркасом         | I   | 6,0   | 4,5 | 1,2 |
|  | II  | 4,5   | 3,0 | 1,0 |
|  | III                                       | 3,0   | 2,2 | 0,7 |
| Здания, в которых не возникают уси-<br>лия от неравномерных осадок | I   | 5,0   | 3,0 | 1,0 |
|  | II  | 3,5   | 2,2 | 0,7 |
|  | III                                       | 2,8   | 1,5 | 0,4 |
| Многоэтажные бескаркасные здания<br>с несущими стенами             | I   | 3,0   | 2,2 | 0,7 |
|  | II  | 2,0   | 1,2 | 0,5 |
|  | III                                       | 1,5   | 1,0 | 0,3 |
| Высокие жесткие сооружения и ды-<br>мовые трубы                    | I   | 4,0   | 2,5 | 0,8 |
|  | II  | 3,0   | 1,5 | 0,6 |
|  | III                                       | 2,0   | 1,2 | 0,4 |

Следующий фактор риска при строительстве зданий в стесненных условиях связан со статическим нагружением грунтового основания весом нового здания, в результате чего происходит изменение напряженного состояния грунтового массива, образуется осадочная воронка и существующее здание, попадая в осадочную воронку, получает дополнительную осадку. Для вычис-

ления дополнительной осадки, вызванной уплотнением грунтового массива, необходимо применять современные численные методы с использованием упругопластических моделей грунтового основания.

Таким образом, для обеспечения надежности и сохранности существующих зданий при новом строительстве необходимо учитывать целый ряд факторов, среди которых можно выделить следующие основные:

1. Расстояние от возводимого до существующего здания.
2. Технология устройства подземной части возводимого здания.
3. При открытом методе ведения работ – глубину разработки дна котлована.
4. Геологические условия площадки.
5. Конструктивные особенности существующего и возводимого здания (этажность возводимого и существующего здания; глубина заложения и типы фундаментов существующего и возводимого зданий; конструктивные схемы зданий).
6. Категорию технического состояния существующего здания.

#### Литература

1. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге [Текст].
2. Рекомендации по проектированию и устройству оснований и фундаментов при возведении зданий вблизи существующих в условиях плотной городской застройки [Текст]. – М.: Правительство Москвы, Москомархитектура, 1999. – 55 с.
3. Симагин, В.Г. Основания и фундаменты зданий после перерыва в строительстве [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Симагин, П.А. Коновалов. – М.: АСВ, 2004. – 224 с.
4. Временные указания по устройству фундаментов рядом с существующими зданиями и сооружениями в г. Москве [Текст].
5. СП-13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений [Текст].
6. ВСН 490-87. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки [Текст].

Докт. техн. наук, проф. В.И. Коробко, асп. Р.В. Алдушкин  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862) 76-39-92; e-mail: [ftis\\_dec@ostu.ru](mailto:ftis_dec@ostu.ru)  
Инж. С.А. Морозов  
(Центр экспертизы промышленной безопасности ОрелГТУ)  
Россия, г. Орел

## РАЦИОНАЛЬНОЕ УСИЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БАЛОК ПРЕДНАПРЯЖЕНИЕМ ЗАТЯЖКИ

В статье исследуется задача рационального усиления металлических балок путем преднапряжения затяжки, закрепленной на нижнем поясе балки, при различных способах передачи дополнительной нагрузки.

The article describes the task of the optimum amplification of metal beams by prestressing of inhaling which affixed with bottom part in different methods of ancillary load transfer.

Усиление шарнирно опертых по концам металлических балок с помощью постановки предварительно напряженной затяжки является распространенным и достаточно эффективным способом [1]. При его использовании оптимальный подбор параметров усиления осуществляется, как правило, проведением многовариантного расчета. Однако этот процесс можно существенно упростить, решив поставленную задачу аналитически с использованием переменных параметров, влияющих на напряженно-деформированное состояние балок.

Рассмотрим шарнирно опертую по концам балку симметричного поперечного сечения площадью  $A$  и длиной  $l$ , нагруженную равномерно распределенной нагрузкой  $q_0$  (рис. 1, а). Заданную балку необходимо догрузить дополнительной распределенной нагрузкой  $q_{дон}$ . Для этого балка усиливается постановкой предварительно напряженной затяжки, натянутой на жесткие упоры  $A$  и  $B$  и расположенной на расстоянии  $C$  от оси балки (рис. 1, б). Требуется подобрать усилие преднапряжения затяжки с целью выравнивания максимальных (по абсолютному значению) напряжений в опасных сечениях балки.

На рисунке 1, в представлена эпюра изгибающих моментов  $M$  от равномерно распределенной нагрузки  $q = q_0 + q_{дон}$  и полного усилия в затяжке  $X$ . Ниже эпюры  $M$  приведены эпюры нормальных напряжений в опасных сечениях балки.

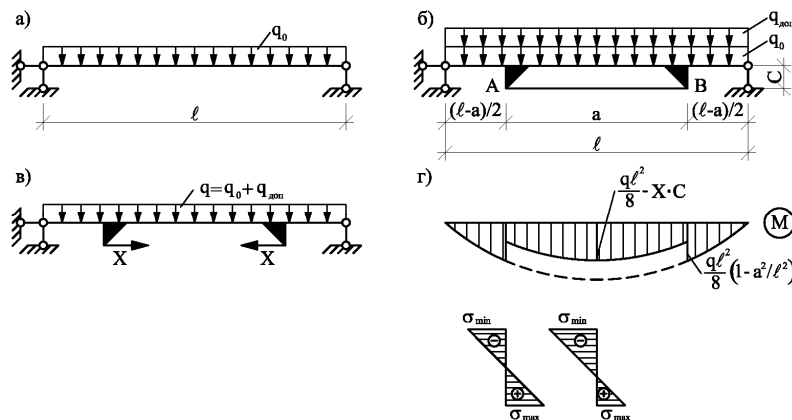


Рис. 1.

Выразим изгибающие моменты в опасных сечениях балки через неизвестное усилие  $X$  в затяжке:

$$\text{– в сечении } x = l/2 : |M|_{x=l/2} = \frac{q\ell^2}{8} - X \cdot C;$$

$$\text{– в сечении } x = (\ell - a)/2 : |M|_{x=(\ell-a)/2} = \frac{q\ell^2}{8} \left( 1 - \frac{a^2}{\ell^2} \right).$$

Запишем выражения для экстремальных нормальных напряжений в опасных сечениях уси-

ленной балки с учетом сжимающего усилия в ее средней части:

$$- \text{ в сечении } x = \ell/2 : \sigma = \pm \left( \frac{q\ell^2}{8} - X \cdot C \right) / W - \frac{X}{A};$$

$$- \text{ в сечении } x = (\ell - a)/2 : \sigma = \pm \frac{q\ell^2}{8} \left( 1 - \frac{a^2}{\ell^2} \right) / W,$$

где  $W$  – момент сопротивления сечения балки.

Приравняв экстремальные сжимающие напряжения, найдем усилие в затяжке:

$$- \left( \frac{q\ell^2}{8} - X \cdot C \right) / W - \frac{X}{A} = - \frac{q\ell^2}{8} \left( 1 - \frac{a^2}{\ell^2} \right) / W, \quad X = \frac{1}{8} \frac{qa^2}{C - W/A}. \quad (1)$$

Полное усилие  $X$  в затяжке складывается из двух составляющих – усилия предварительного напряжения  $X_n$  и усилия самонапряжения  $X_c$ , вызванного равномерно распределенной нагрузкой  $q$  в рассматриваемой статически неопределимой системе:  $X = X_n + X_c$ .

В зависимости от способа усиления балки могут возникнуть два случая:

1) перед усилением балки заданная нагрузка  $q_0$  снимается, и уже к усиленной балке прикладывается полная нагрузка  $q = q_0 + q_{дон}$ ;

2) балка усиливается без снятия нагрузки  $q_0$ .

В первом случае усилие самонапряжения в затяжке будет возникать от полной нагрузки  $q$ , а во втором – только от дополнительной нагрузки  $q_{дон}$ .

Найдем усилие самонапряжения, проведя расчет усиленной системы методом сил. Основная система представлена на рисунке 2, а; эпюра изгибающих моментов грузового состояния  $M_p$  – на рисунке 2, б; эпюра единичных моментов  $\bar{M}_1$  – на рисунке 2, в; эпюра нормальных сил единичного состояния  $\bar{N}_1$  – на рисунке 2, г.

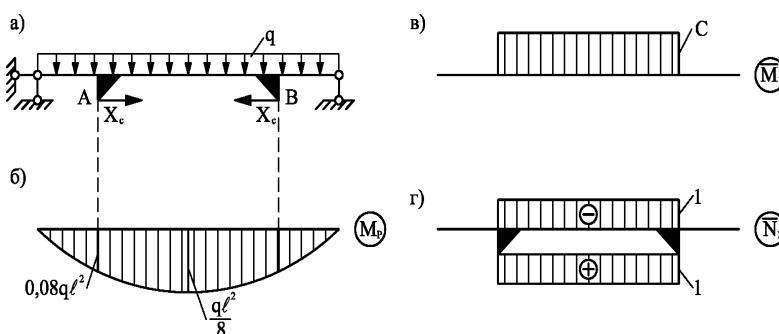


Рис. 2.

Запишем каноническое уравнение метода сил и найдем перемещения  $\delta_{11}$  и  $\Delta_{1P}$ :

$$X_1 \delta_{11} + \Delta_{1P} = 0;$$

$$\delta_{11} = (\delta_{11})_{M_1} + (\delta_{11})_{\bar{N}_1} = \frac{a}{E} \left( \frac{C^2}{I} + \frac{1}{A} + \frac{1}{A_3} \right); \quad (2)$$

$$(\Delta_{1P})_1 = - \frac{a}{6EI} \left[ 2 \cdot \frac{q\ell^2}{8} \left( 1 - \frac{a^2}{\ell^2} \right) \cdot C + 4 \cdot \frac{q\ell^2}{8} \cdot c \right] = - \frac{q\ell^2}{24EI} \cdot a \cdot C \cdot \left( 3 - \frac{a^2}{\ell^2} \right); \quad (3)$$

$$(\Delta_{1P})_2 = - \frac{a}{6EI} \left[ 2 \cdot \frac{q_{дон}\ell^2}{8} \left( 1 - \frac{a^2}{\ell^2} \right) \cdot C + 4 \cdot \frac{q_{дон}\ell^2}{8} \cdot C \right] = - \frac{q_{дон}\ell^2}{24EI} \cdot a \cdot C \cdot \left( 3 - \frac{a^2}{\ell^2} \right), \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости материала;  $I$  – момент инерции сечения балки;  $A_3$  – площадь поперечного сечения затяжки.

Здесь  $(\Delta_{1P})_1$  – относится к первому способу усиления балки,  $(\Delta_{1P})_2$  – ко второму.

Решая каноническое уравнение, получим:

– для первого случая усиления:  $X_c = \frac{(q_0 + q_{дон})\ell^2 \cdot C \left(3 - \frac{a^2}{\ell^2}\right)}{24} / \left(C^2 + \frac{I}{A} + \frac{I}{A_3}\right)$ ;

– для второго случая усиления:  $X_c = \frac{q_{дон}\ell^2 \cdot C \left(3 - \frac{a^2}{\ell^2}\right)}{24} / \left(C^2 + \frac{I}{A} + \frac{I}{A_3}\right)$ .

Найдем усилие предварительного напряжения:

– для первого случая усиления:  $X_n = X - X_c = \frac{(q_0 + q_{дон})\ell^2}{8} \left[ \frac{a^2/\ell^2}{C - W/A} - \frac{C(1 - a^2/(3\ell^2))}{C^2 + I/A + I/A_3} \right]$ ; (5)

– для второго случая усиления:

$$\begin{aligned} X_n = X - X_c &= \frac{(q_0 + q_{дон})\ell^2}{8} \left( \frac{a^2/\ell^2}{C - W/A} \right) - \frac{q_{дон}\ell^2}{8} \frac{C(1 - a^2/(3\ell^2))}{C^2 + I/A + I/A_3} = \\ &= \frac{q_0\ell^2}{8} \frac{a^2/\ell^2}{C - W/A} + \frac{q_{дон}\ell^2}{8} \left[ \frac{a^2/\ell^2}{C - W/A} - \frac{C(1 - a^2/(3\ell^2))}{C^2 + I/A + I/A_3} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Анализ формул (5) и (6) показывает, что в первом случае усиления балки при всех одинаковых ее геометрических и физических параметрах требуется меньшая величина усилия преднапряжения, чем во втором.

Возможное увеличение нагрузки найдем из условия равенства изгибающих моментов в опасных сечениях:  $|M|_{x=\ell/2} = |M|_{x=(\ell-a)/2}$ ;  $\frac{q_0\ell^2}{8} = \frac{(q_0 + q_{дон})\ell^2}{8} \left(1 - \frac{a^2}{\ell^2}\right)$ ;  $q_{дон} = \frac{q_0}{\ell^2/a^2 - 1}$ . (7)

При оптимальном усилении балки с учетом использования максимально возможного увеличения нагрузки для определения усилия преднапряжения в затяжке необходимо в формулы (5) и (6) подставить выражение (7). При этом получим:

– для первого случая усиления:

$$X_n = \frac{q_0\ell^2}{8} \frac{1}{\ell^2/a^2 - 1} \left[ \frac{a^2/\ell^2}{C - W/A} - \frac{C(1 - a^2/(3\ell^2))}{C^2 + I/A + I/A_3} \right]; \quad (8)$$

– для второго случая усиления:

$$X_n = \frac{q_0\ell^2}{8} \frac{1}{\ell^2/a^2 - 1} \left[ \frac{1 - a^2/\ell^2}{C - W/A} - \frac{C(1 - a^2/(3\ell^2))}{C^2 + I/A + I/A_3} \right]. \quad (9)$$

В качестве примера рассмотрим балку пролетом  $l = 6$  м, выполненную из двутавра №40 по ГОСТ 8239-89 ( $A = 72,6$  см<sup>2</sup>,  $W = 947$  см<sup>3</sup>,  $I = 18930$  см<sup>4</sup>), с равномерно распределенной нагрузкой  $q = 50$  кН/м. Требуется увеличить нагрузку на 50%, т. е.  $q = q_0 + q_{дон} = 50 + 25 = 75$  кН/м.

Запроектируем усиление балки постановкой предварительно напряженной затяжки. В качестве затяжки примем стальной канат  $d = 20$  мм (ГОСТ 10506-76) с  $A_3 = 2,663$  см<sup>2</sup> и расположим его на расстоянии  $C = 30$  см от оси балки.

При увеличении нагрузки на 50% из формулы (7) найдем рациональную длину участка усиления  $a$ :

$$q_{дон} = \frac{q_0}{\ell^2/a^2 - 1} \Rightarrow a = \sqrt{\frac{\ell^2}{q_0/q_{дон} + 1}} = \sqrt{\frac{6^2}{5/2,5 + 1}} = 3,46 \text{ м.}$$

Определим усилие преднапряжения в затяжке для двух случаев усиления по формулам (8) и (9):

– для первого случая усиления:

$$\begin{aligned} X_n &= \frac{q_0\ell^2}{8} \frac{1}{\ell^2/a^2 - 1} \left[ \frac{a^2/\ell^2}{C - W/A} - \frac{C(1 - a^2/(3\ell^2))}{C^2 + I/A + I/A_3} \right] = \frac{5 \cdot 6^2}{8} \frac{1}{6^2/3,46^2 - 1} \left[ \frac{3,46^2/6^2}{0,3 - 947 \cdot 10^{-6}/72,6 \cdot 10^{-4}} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{0,1 \cdot (1 - 3,46^2/(3 \cdot 6^2))}{0,1^2 + 18930 \cdot 10^{-8}/72,6 \cdot 10^{-4} + 18930 \cdot 10^{-8}/2,663 \cdot 10^{-4}} \right] = 186,19 \text{ кН}; \end{aligned}$$

– для второго случая усиления:

$$X_n = \frac{q_0 \ell^2}{8} \frac{1}{\ell^2/a^2 - 1} \left[ \frac{1 - a^2/\ell^2}{C - W/A} - \frac{C(1 - a^2/(3\ell^2))}{C^2 + I/A + I/A_3} \right] = \frac{5 \cdot 6^2}{8} \frac{1}{6^2/3,46^2 - 1} \left[ \frac{1 - 3,46^2/6^2}{0,3 - 947 \cdot 10^{-6}/72,6 \cdot 10^{-4}} - \frac{0,1 \cdot (1 - 3,46^2/(3 \cdot 6^2))}{0,1^2 + 18930 \cdot 10^{-8}/72,6 \cdot 10^{-4} + 18930 \cdot 10^{-8}/2,663 \cdot 10^{-4}} \right] = 408,44 \text{ кН}.$$

Определим усилия самонапряжения в затяжке:

– для первого случая усиления:

$$X_c = \frac{(q_0 + q_{дон}) \ell^2 \cdot C}{24} \left( 3 - \frac{a^2}{\ell^2} \right) / \left( C^2 + \frac{I}{A} + \frac{I}{A_3} \right) = \frac{(50 + 25) \cdot 6^2 \cdot 0,3}{24} \left( 3 - \frac{3,46^2}{6^2} \right) / \left( 0,3^2 + \frac{18930 \cdot 10^{-8}}{72,6 \cdot 10^{-4}} + \frac{18930 \cdot 10^{-8}}{2,663 \cdot 10^{-4}} \right) = 108,17 \text{ кН};$$

– для второго случая усиления:

$$X_c = \frac{q_{дон} \ell^2 \cdot C}{24} \left( 3 - \frac{a^2}{\ell^2} \right) / \left( C^2 + \frac{I}{A} + \frac{I}{A_3} \right) = \frac{25 \cdot 6^2 \cdot 0,3}{24} \left( 3 - \frac{3,46^2}{6^2} \right) / \left( 0,3^2 + \frac{18930 \cdot 10^{-8}}{72,6 \cdot 10^{-4}} + \frac{18930 \cdot 10^{-8}}{2,663 \cdot 10^{-4}} \right) = 36,06 \text{ кН}.$$

Определим полное усилие  $X$  в затяжке из двух составляющих – усилия предварительного напряжения  $X_n$  и усилия самонапряжения  $X_c$ :

– для первого случая усиления:  $X = X_n + X_c = 186,19 + 108,17 = 294,36 \text{ кН}$ ;

– для второго случая усиления:  $X = X_n + X_c = 408,44 + 36,06 = 444,49 \text{ кН}$ .

Несущая способность стального каната  $d = 20 \text{ мм}$  маркировочной группы 1270 Н/мм<sup>2</sup> составляет 339 кН и превышает фактическое усилие, возникающее в первом случае усиления (недонапряжение каната на 14%). Для второго случая усиления несущей способности каната недостаточно. Следовательно, необходимо снова провести расчет, приняв канат с большей площадью поперечного сечения или несущей способностью.

Сложное конструктивное исполнение узлов крепления и натяжения каната, более высокая их стоимость по сравнению с арматурным стержнем ограничивает использование канатов для усиления балок. Поэтому на практике часто используются в качестве затяжки арматурные стержни. Примем для усиления балки стержень  $d = 20 \text{ мм}$  класса Ат-VII (ГОСТ 10884-81) с  $A_3 = 3,142 \text{ см}^2$ , а остальные параметры – по примеру, приведенному выше.

Произведя необходимые вычисления, аналогичные расчетам, проведенным выше, получим:

– для первого случая усиления:  $X = X_n + X_c = 180,75 + 124,49 = 305,24 \text{ кН}$ ;

– для второго случая усиления:  $X = X_n + X_c = 402,99 + 41,48 = 444,49 \text{ кН}$ .

Найдем растягивающее напряжение в затяжке:

– для первого случая усиления:  $\sigma = \frac{X}{A_3} = \frac{305,24}{3,142 \cdot 10^{-4}} = 972 \text{ МПа}$ ;

– для второго случая усиления:  $\sigma = \frac{X}{A_3} = \frac{444,49}{3,142 \cdot 10^{-4}} = 1415 \text{ МПа}$ .

Несущая способность арматурного стержня  $d = 20 \text{ мм}$  класса Ат-VII составляет 980 МПа и удовлетворяет первому случаю усиления балки. При реализации второго способа усиления нужно выбрать стержень большей площади и провести новый расчет.

Рассмотренные примеры показывают, что наиболее эффективным является усиление балки с предварительным снятием нагрузки.

Полученные в статье результаты позволяют подбирать оптимальную длину участка усиления балки с учетом задаваемой величины дополнительной нагрузки.

#### Литература

1. Абовский, Н.П. Регулирование, синтез, оптимизация: Избранные задачи по строительной механике и теории упругости [Текст] / Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, В.И. Савченков и др. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. – 382 с.

*Докт. техн. наук, проф. В.И. Коробко, канд. техн. наук, доц. А.В. Турков, канд. техн. наук, доц. А.П. Юров, асп. П.А. Гвозков, асп. Р.В. Алдушкин (Орловский государственный технический университет) Россия, г. Орел, тел. (4862) 73-15-10; e-mail: ftis\_dec@ostu.ru*

## **ЭКСПЕРТИЗА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЫМОВЫХ ТРУБ: ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

*В статье приводятся общие выводы и замечания по техническому состоянию промышленных дымовых труб на предприятиях Орловской области, дается характеристика наиболее характерных дефектов и повреждений для кирпичных железобетонных и металлических труб.*

Промышленные дымовые трубы относятся к сложным специальным инженерным сооружениям башенного типа и предназначены для отвода газов от тепловых установок и рассеивания их в атмосфере. Они бывают кирпичными, железобетонными и металлическими. От надежности, прочности и долговечности этих сооружений зависит бесперебойная и безопасная работа подключаемого к ним технологического оборудования и агрегатов [1].

Ответственность за безопасную эксплуатацию дымовых труб несет руководитель организации. Для этих целей на предприятиях создаются службы технического надзора, специалисты которых должны быть аттестованы территориальной аттестационной комиссией Ростехнадзора РФ по безопасным методам эксплуатации сооружений подобного типа.

Организацией, в технологических процессах которой используются дымовые трубы, должен быть составлен график их периодических осмотров, обследований и наблюдений за вертикальностью стволов и осадками фундаментов; на каждую трубу должен быть составлен паспорт, содержащий ее технические характеристики, дату ввода в эксплуатацию, характеристику дымовых газов, состояние трубы по результатам обследования, информацию о проведении ремонтов и всех конструктивных изменениях.

На каждую трубу должен быть сформирован комплект документов, включающий:

- 1) акт приемки в эксплуатацию законченной строительством трубы, к которому прилагаются:
  - а) комплект рабочих чертежей промышленной трубы и исполнительной строительной документации, включая акты освидетельствования скрытых работ и журналы работ;
  - б) сертификаты, технические паспорта и другие документы, удостоверяющие качество примененных материалов, конструкций и деталей;
- 2) акты на проведение сушки и разогрева трубы перед пуском в эксплуатацию после окончания строительства, акты на расконсервацию труб, а также на производство ремонтных работ;
- 3) журнал эксплуатации трубы со сведениями о фактическом режиме работы (температуре, объеме и составе отводимых газов и др.), акты осмотров, проведенных ремонтов и заключений по результатам обследований специализированными организациями;
- 4) журнал контроля осадок фундамента и крена трубы в процессе строительства со схемами исполнительной съемки.

Повреждения и дефекты труб, возникающие в процессе их строительства и эксплуатации в результате механических (силовых, температурно-влажностных), химических и комбинированных воздействий, характеризуют отклонения параметров качества материала, формы и фактических размеров конструкций от требований нормативных документов или проекта.

Повреждения от силовых воздействий возникают вследствие несоответствия реальных условий работы конструкций расчетным и проявляются в виде местных разрушений (разрывов, трещин, сколов кирпича, бетона с выпучиванием продольной арматуры и др.), а также в форме чрезмерных деформаций элементов сооружения (искривление ствола, крены и осадки фундаментов, выпучивание и искривление участков стен и футеровки ствола, металлоконструкций и др.).

Повреждения от температурно-влажностных воздействий проявляются в образовании системы вертикальных и горизонтальных трещин, в отслоении кирпича и бетона лещадками, образова-



нии конденсата с выходом на наружную поверхность трубы, образовании наледей в зимнее время.

Повреждения от химических воздействий возникают в результате действий агрессивных сред, проявляются в виде химической и электрохимической коррозии бетона, раствора, металлов, разрушения защитных покрытий и являются наиболее опасными, т. к. вызывают наибольшие разрушения.

Согласно требованиям РД 03-610-03 [2], в актах осмотров и экспертных заключениях по результатам обследований указывается категория опасности дефекта или повреждения элементов труб, устанавливаемые по следующим признакам:

**А** – дефекты и повреждения элементов трубы, представляющие непосредственную опасность их разрушения (недопустимые по нормам крены и искривления стволов, выколы и отслоения защитного слоя бетона с выгибом стержней вертикальной арматуры на участках более 1 м по окружности, разрушения (расслоения) кирпича кладки ствола на глубину более 20 мм, раствора – более 40 мм, обрушения участков футеровки более 1 м<sup>2</sup>, местные прогибы металлических труб, выходящие за пределы нормативов и др.).

**Б** – дефекты и повреждения труб, не представляющие непосредственной опасности разрушения ее несущих элементов, но способные в дальнейшем вызвать повреждения других элементов и узлов или при развитии повреждения перейти в категорию **А**.

**В** – дефекты и повреждения локального характера, которые при последующем развитии не могут оказать влияния на основные несущие конструкции труб (повреждения ходовых лестниц, светофорных площадок, ограждений и др.).

По результатам обследований делается вывод о техническом состоянии трубы, которое классифицируется как:

а) **исправное** – все элементы трубы удовлетворяют требованиям действующих нормативных документов и проектной документации;

б) **работоспособное** – удовлетворяются требования обеспечения производственного процесса и дальнейшей безопасной эксплуатации трубы, но имеются незначительные отступления от действующих нормативных документов и проекта;

в) **ограниченно-работоспособное** – возможна дальнейшая эксплуатация трубы при определенных ограничениях и разработке мероприятий по контролю за состоянием конструкций, параметрами технологического процесса, нагрузками и воздействиями, а также разработке мероприятий по устранению выявленных дефектов и повреждений в установленные сроки;

г) **неработоспособное (аварийное)** – возможна потеря несущей способности основных элементов или сооружения в целом, исключающая дальнейшую эксплуатацию.

Дефекты и повреждения труб категории **В** и отдельные повреждения с незначительным развитием категории **Б** допускается устранять по технической документации, разработанной проектно-конструкторскими подразделениями организаций, эксплуатирующих объект. Дефекты и повреждения категории **А** и повреждения категории **Б**, способные при быстром развитии перейти в категорию **А**, должны устраняться только в соответствии с технической документацией, разработанной специализированной организацией, имеющей разрешение (лицензию) Ростехнадзора РФ на данный вид деятельности.

Замечания по состоянию промышленных дымовых труб условно делятся на организационные и технические. К организационным относятся замечания, касающиеся ведения всей документации по трубе. Систематизируя организационные недостатки можно отметить:

1. Практически у всех предприятий (за редким исключением) отсутствует проектная документация на трубы, а также исполнительная строительная документация (акты на скрытые работы, исполнительные схемы на проверку вертикальности стволов труб, акты ввода в эксплуатацию).

2. Регулярных обследований состояния труб ни собственными силами, ни силами специализированных организаций не проводится. Наблюдения за креном труб и осадкой фундаментов не ведется, соответствующие журналы не оформляются. Подавляющее число дымовых труб в Орловской области не имеют паспортов, а в тех организациях, где паспорта составлены, они не включают и 50% нужной информации о трубе.

3. При оформлении договора на проведение экспертизы промышленной безопасности труб заказчики не включают в техническое задание обследования фундаментов и состояния грунтов в основании фундаментов, мотивируя это ограниченностью финансовых ресурсов. По этой причине в паспорт объекта не вносятся данные о размерах и конструкции фундаментов, его состоянии, прочности бетона или бутовой кладки, действительном давлении на грунт.

4. В Орловской области имеется большое число дымовых труб, которые еще ни разу не обследовались.

5. Многие заказчики, проведя экспертизу промышленной безопасности трубы, не спешат ис-

править замечания, даже относящиеся к категории недопустимых.

Следует отметить, что документация, касающаяся непосредственно технологического оборудования котельных, содержится в удовлетворительном состоянии. Эту заслугу, видимо, следует отнести в актив инспекторов территориальных органов Ростехнадзора РФ, которые проводят систематические плановые проверки всех котельных.

Перечисленные организационные недостатки относятся в первую очередь к предприятиям, имеющим на балансе малые котельные и невысокие трубы (до 30 ... 40 м). Справедливости ради необходимо отметить, что солидные промышленные предприятия к этим вопросам относятся куда более серьезно.

Замечания технического характера относятся к специфике конструкций и материала дымовой трубы. Опыт проведения экспертизы промышленной безопасности дымовых труб силами Центра экспертизы промышленной безопасности при ОрелГТУ показал, что подавляющее число труб имеют серьезные дефекты и повреждения, представляющие угрозу как промышленным объектам непосредственно, так и людям (многие котельные находятся в черте населенных пунктов). Это в первую очередь относится к металлическим трубам. Именно на таких трубах проявляется большая часть дефектов категории А и Б.

Иллюстрация наиболее характерных дефектов дымовых труб приведена на рисунках 1 и 2.

а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)



и)



Рис. 1. Дефекты и повреждения кирпичных труб

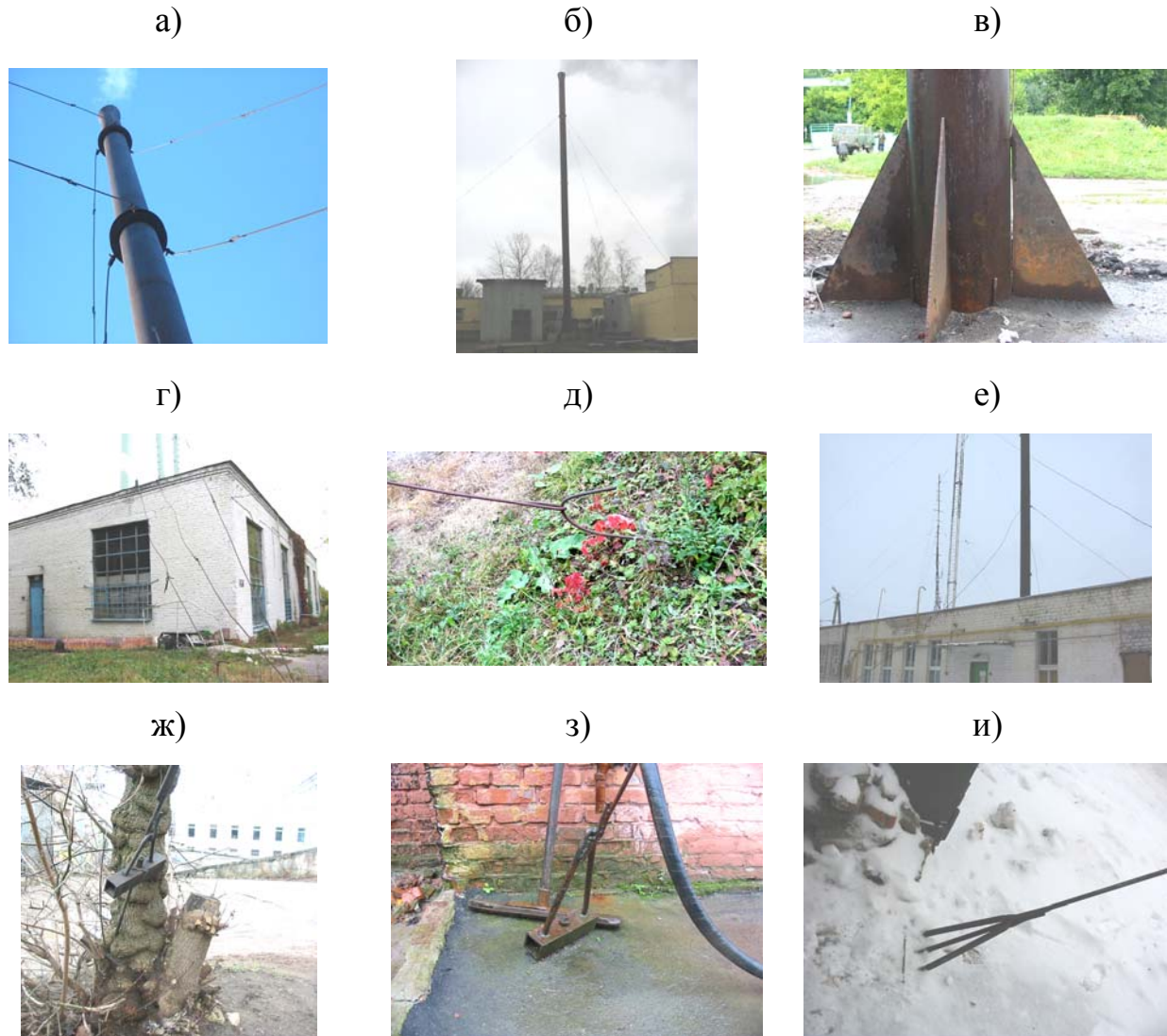


Рис. 2. Дефекты и повреждения металлических труб

Обобщение и систематизация этих дефектов позволяют сделать следующие выводы.

1. Для кирпичных труб характерными дефектами являются:

- многочисленные трещины ствола, свидетельствующие о неправильном разогреве труб при пуске в эксплуатацию;
- вертикальные трещины в нижней части трубы, достигающие длины 1,5 ... 2,5 м;
- оголовки труб имеют значительные разрушения кирпича, раствора кладки;
- нарушено крепление стягивающих металлических бандажей и отмечаются их значительные коррозионные повреждения;
- футеровка труб и боровов на больших участках обрушена, газы проходят сквозь кладку, интенсивно разрушая ее.

Отклонения ствола кирпичных труб от вертикали, как правило, не превышают допустимых значений.

2. Железобетонные трубы находятся в лучшем состоянии. К числу наиболее часто встречающихся повреждений относятся разрушение оголовка трубы, незащищенность арматуры стыковых соединений и их коррозия, отсутствие металлических поясов-бандажей на стыках царг.

3. К числу наиболее распространенных дефектов и повреждений металлических труб следует отнести:

- чрезмерные отклонения ствола от вертикали, достигающие иногда 50 ... 60 см и более (этот дефект имеется на большинстве металлических труб);
- отсутствие подливки раствора под металлическую плиту, соединяющую ствол с фундаментом;
- неверно выполненные узлы крепления ствола к металлической плите и последней к фундаменту;
- отсутствие колодцев в основании трубы для удаления золы;
- значительные коррозионные повреждения металла, особенно в нижней зоне, коррозионное повреждение газоходов.

Вантовые оттяжки металлических труб почти повсеместно не отвечают техническим требованиям:

- многие оттяжки выполнены из тонкой арматурной проволоки  $d = 8 \dots 10$  мм, стыкуются они часто на примитивных скрутках или свариваются без соблюдения требований к сварке;
- натяжение вант повсеместно не отрегулировано;
- натяжные устройства либо отсутствуют совсем (в большинстве случаев), либо их состояние таково, что не позволяет производить регулировку натяжения;
- встречаются случаи, когда ванты вообще оборваны или совершенно не натянуты;
- иногда крепление вант осуществляется к фермам покрытия, к фонарным фермам и другим конструкциям здания без выполнения надлежащим конструкций соединений;
- на многих трубах оси вант не пересекаются с осью ствола, тем самым создавая крутящий момент в стволе;
- имеются высокие трубы (более 30 м) с одним ярусом оттяжек, вертикальность таких труб отрегулировать невозможно;
- анкерные устройства заменяются металлическими консольными стержнями, плохо закрепленными в фундаменте или конструкциях здания, и обладают значительной податливостью.

К числу общих дефектов и замечаний для всех видов труб следует отнести:

- поврежденные молниеотводы, сечения которых ниже требуемых по нормам;
- поврежденные заземления либо заземления, выполненные с отступлением от нормативных требований;
- отсутствие смотровых площадок;
- поврежденные ступени ходовых лестниц либо их отсутствие вообще;
- отсутствие светоразличительной окраски труб и габаритного освещения.

Подводя итог сказанному, можно сделать вывод о том, что в целом состояние трубного хозяйства на предприятиях Орловской области оценивается как неудовлетворительное. Для наведения порядка в этом хозяйстве необходимо принять скоординированные организационные меры, объединив усилия хозяйствующих субъектов, специализированных экспертных организаций и территориальных органов Ростехнадзора РФ.

#### Литература

1. Дужих, Ф.П. Промышленные дымовые и вентиляционные трубы [Текст]: Справочное издание / Ф.П. Дужих, В.П. Осоловский, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплотехник, 2004. – 464 с.
2. РД 03-610-03. Методические указания по обследованию дымовых и вентиляционных промышленных труб [Текст]. – Серия 03. – Вып. 40 / Колл. авт. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – 52 с.



Ст. преп. И.Б. Поварова

(Петербургский государственный университет путей сообщения)

Россия, г. Санкт - Петербург, тел. (4812) 768-82-34; e-mail: [pas30@yandex.ru](mailto:pas30@yandex.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ПОЛОГОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБОЛОЧКИ

*В данной статье предлагается аналитическое решение задачи об устойчивости при поперечной нагрузке складчатой пологой оболочки с изломами срединной поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях.*

*There are analytical solution and investigation of stability geometrically non-linear shallow folded shells with distributed loading under consideration.*

Теоретические исследования в области статического расчета тонких оболочек основаны на ряде положений геометрического и физического характера. В качестве расчетной модели оболочки принимается ее срединная поверхность. Конструкции сборных складчатых железобетонных оболочек с геометрической стороны характерны тем, что их срединные поверхности имеют изломы и не могут описываться гладкими функциями. Кривизны таких поверхностей представляются с использованием дельта-функций.

Геометрия оболочки представлена на рис. 1.

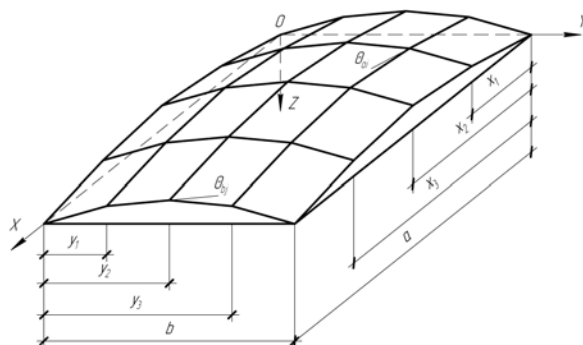


Рис. 1. Срединная поверхность складчатой оболочки

В общем случае для складчатого поперечного контура кривизна  $K(s)$  представляется выражением через  $\delta$ -функцию Дирака:

$$K(s) = K_0(s) + \sum_i \Theta_i \delta(s - s_i),$$

где  $K_0(s)$  - кривизна контура между точками перелома;  $\Theta_i$  - угол перелома между смежными участками контура в точке перелома.

Для складчатой оболочки, выполненной из плоских панелей, кривизна  $K(s)=0$ , и приведенное выражение принимает вид:

$$K(s) = \sum_i \Theta_i \delta(s - s_i). \quad (1)$$

Устойчивость складчатых оболочек в геометрически нелинейной постановке исследована лишь для призматических оболочек с изломами в одном направлении [3].

В данной статье предлагается решение задачи об устойчивости при поперечной нагрузке складчатой пологой оболочки с изломами срединной поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

С учетом выражений (1) для кривизн получаем вид разрешающих нелинейных уравнений для складчатой полой оболочки с изломами срединной поверхности в двух направлениях:

$$D \nabla^2 \nabla^2 w - h \left( \sum_{i=1}^k \Theta_{a_i} \delta(x - x_i) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \sum_{j=1}^l \Theta_{b_j} \delta(y - y_j) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) - q(x, y) = 0;$$

$$\frac{1}{E} \nabla^2 \nabla^2 \varphi + \sum_{i=1}^k \Theta_{a_i} \delta(x - x_i) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \sum_{j=1}^l \Theta_{b_j} \delta(y - y_j) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 = 0,$$

где  $w$  - прогиб;  $h$  - толщина оболочки;  $q(x, y)$  - интенсивность поперечной распределенной нагрузки;  $D$  - цилиндрическая жесткость оболочки.

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

где  $E$ ,  $\nu$  - модуль упругости и коэффициент Пуассона материала оболочки;  $\nabla^2$  - оператор Лапласа;  $\varphi(x, y)$  - функция напряжений, определяемая соотношениями для тангенциальных усилий:

$$T_x = h \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \quad T_y = h \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad T_{xy} = -h \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \cdot \partial y}.$$

Оболочка с размерами в плане  $a$  и  $b$  шарнирно опирается по краям на торцовые диафрагмы, имеющие большую жесткость в своей плоскости и малую из плоскости. В соответствии с этим имеем следующие граничные условия на краях:

$$\text{при } x=0 \text{ и } x=a \text{ имеем: } w=0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0, \quad T_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad T_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = 0;$$

$$\text{при } y=0 \text{ и } y=b \text{ имеем: } w=0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad T_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 0, \quad T_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = 0. \quad (2)$$

Граничные условия для сдвигающих усилий удовлетворяются на краях интегрально.

Представим аппроксимирующие функции в виде двойных тригонометрических рядов, удовлетворяющих условиям (2):

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn} \sin \frac{m \pi x}{a} \sin \frac{n \pi y}{b};$$

$$\varphi = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{mn} \sin \frac{m \pi x}{a} \sin \frac{n \pi y}{b},$$

где  $w_{mn}$  - стрела прогиба в центре оболочки при значениях  $x=a/2$  и  $y=b/2$  и волновых числах  $m, n = 1, 3, 5, \dots$

Определим зависимость между нагрузкой  $q$  и стрелой прогиба  $w$ , а также критическое значение нагрузки  $q$ .

Решая задачу в первом приближении методом Бубнова - Галеркина, получим систему уравнений:

$$D w_{11} I_1 - h (\varphi_{11} I_2 + \varphi_{11} I_3 - \varphi_{11} w_{11} I_4 + \varphi_{11} w_{11} I_5 - I_6) = 0;$$

$$\varphi_{11} \frac{1}{E} I_7 + w_{11} I_8 + w_{11} I_9 + w_{11}^2 (I_{10} - I_{11}) = 0,$$

где при вычислении интегралов  $I_2, I_3$  использовано фильтрующее свойство  $\delta$  - функции Дирака.

После некоторых математических преобразований получим нелинейную зависимость между нагрузкой  $q$  и прогибом  $w_{11}$  в середине оболочки:

$$q \frac{a^4}{Eh^4} = \frac{w_{11}}{h} \frac{\pi^6 \left(1 + \frac{1}{\gamma^2}\right)^2}{192 (1 - \nu^2)} + \left( - \frac{w_{11}}{h} \frac{a^2 b^2}{h^2 (1 + \gamma^2)^2} \cdot \frac{1}{2b} \sum_{i=1}^k \Theta_{ai} \sin^2 \frac{\pi x_i}{a} - \frac{w_{11}}{h} \frac{a^2 b^2}{h^2 (1 + \gamma^2)^2} \frac{1}{2a} \sum_{j=1}^l \Theta_{bj} \sin^2 \frac{\pi y_j}{b} + \frac{w_{11}^2}{h} \frac{1}{h} \frac{4}{3} \frac{ab}{h^2 (1 + \gamma^2)^2} \right) \times \left( \frac{w_{11}}{h} \frac{8h}{3} \frac{\pi^2}{ab} - \frac{\pi^2}{2b} \sum_{i=1}^k \Theta_{ai} \sin^2 \frac{\pi x_i}{a} - \frac{\pi^2}{2a} \sum_{j=1}^l \Theta_{bj} \sin^2 \frac{\pi y_j}{b} \right).$$

В безразмерной форме это соотношение принимает вид:

$$q^* = \frac{\pi^6 \left(1 + \frac{1}{\gamma^2}\right)^2}{192 (1 - \nu^2)} w_* + \frac{\pi^2}{16 (1 + \gamma^2)^2} (X_x + X_y)^2 w_* - \frac{\pi^2}{(1 + \gamma^2)^2} (X_x + X_y) w_*^2 + \frac{32 \pi^2}{9 (1 + \gamma^2)^2} w_*^3, \quad (3)$$

где введены следующие безразмерные параметры:

$$q^* = q \frac{a^4}{Eh^4} - \text{параметр нагрузки; } \gamma = \frac{b}{a} - \text{отношение сторон оболочки;}$$

$$w = \frac{w_{11}}{h} \text{ при } x = \frac{a}{2}, y = \frac{b}{2} - \text{безразмерный прогиб;}$$

$$X_x = \frac{a^2}{h} \left( \frac{2}{a} \sum_{i=1}^k \Theta_{ai} \sin^2 \frac{\pi x_i}{a} \right), \quad (4)$$

$$X_y = \frac{b^2}{h} \left( \frac{2}{b} \sum_{j=1}^l \Theta_{bj} \sin^2 \frac{\pi y_j}{b} \right) - \text{безразмерные параметры приведенной условной кривизны}$$

складчатой оболочки.

Нелинейная зависимость  $q^*$  от  $w_*$  (3) позволяет определить критическую нагрузку  $q_{кр}^*$  для пологой складчатой оболочки положительной гауссовой кривизны.

В частном случае оболочки с квадратным планом, т. е. при  $a=b$  и  $\gamma = 1$ , нелинейная зависимость (3) между нагрузкой и прогибом в середине оболочки принимает вид:

$$q^* = \frac{\pi^6}{48 (1 - \nu^2)} w_* + \frac{\pi^2}{64} (X_x + X_y)^2 w_* - \frac{\pi^2}{4} (X_x + X_y) w_*^2 + \frac{8 \pi^2}{9} w_*^3. \quad (5)$$

При увеличении количества граней складчатой оболочки ее срединная поверхность стремится к поверхности описанной гладкой оболочки, а параметры условной кривизны (4) стремятся в пределе к параметрам главных кривизн гладкой оболочки:

$$X_x \longrightarrow K_x^*, \quad X_y \longrightarrow K_y^*,$$

$$\text{где } K_x^* = \frac{a^2}{h} K_x, \quad K_y^* = \frac{b^2}{h} K_y, \quad K^* = K_x^* + K_y^*.$$

При большом количестве граней соотношение (5) переходит в известную нелинейную зависимость для квадратных в плане гладких пологих оболочек положительной гауссовой кривизны [1, 2]:

$$q^* = 22 w_* + 0,154 (K^*)^2 w_* - 2,46 K^* w_*^2 + 8,77 w_*^3. \quad (6)$$

Для квадратной в плане складчатой пологой оболочки, вписанной в поверхность гладкой сферической оболочки, имеем  $X_x = X_y = X$ , и из (5) получим соотношение:

$$q^* = \frac{\pi^6}{48 (1 - \nu^2)} w_* + \frac{\pi^2}{16} X^2 w_* - \frac{\pi^2}{2} X w_*^2 + \frac{8 \pi^2}{9} w_*^3. \quad (7)$$

Для квадратной в плане призматической оболочки, вписанной в поверхность гладкой цилиндрической оболочки, одна из кривизн обращается в ноль, и из (5) получается зависимость « $q^* - w_*$ », использованная в работах [3, 4]:

$$q^* = \frac{\pi^6}{48 (1 - \nu^2)} w_* + \frac{\pi^2}{64} X_x^2 w_* - \frac{\pi^2}{4} X_x w_*^2 + \frac{8 \pi^2}{9} w_*^3.$$

Проведем сравнение устойчивости квадратной в плане пологой складчатой оболочки и соответствующей ей гладкой сферической оболочки. Используем нелинейную зависимость (7). С этой целью определим критическую нагрузку  $q_{кр}^*$  для складчатой оболочки с размерами в плане  $a = b = 8$  м тремя взаимно перпендикулярными изломами срединной поверхности и постоянным углом

излома  $\Theta_{ai} = \Theta_{bj} = \Theta = \frac{\pi}{24}$ . Стрела подъема оболочки  $f = \frac{1}{16}a$ , толщина  $h = 0,133$  м, радиус описанной сферической оболочки  $R = 16$  м, значение параметра приведенной условной кривизны складчатой оболочки по (4) и равно  $X=37$ . Получим кривую зависимости « $q^* - w_*$ » (рис. 2).

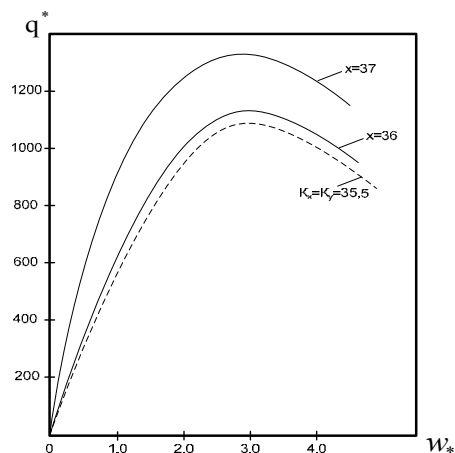


Рис. 2. Графики зависимости « $q^* - w_*$ » для квадратных в плане складчатых и гладких оболочек

Увеличим количество граней в данной складчатой оболочке и рассмотрим ее с семью изломами срединной поверхности. При этом параметр приведенной условной кривизны по (4) уменьшится до значения  $X = 36$ . Используя соотношение (7), получим более низкое значение параметра критической нагрузки  $q_{кр}^*$ .

Увеличение количества граней приближает срединную поверхность складчатой оболочки к срединной поверхности описанной гладкой сферической оболочки.

Штриховой линией на рис. 2 показана зависимость « $q^* - w_*$ », приведенная в [1] для гладкой сферической оболочки с параметрами кривизны  $K_x = K_y = \frac{a^2}{Rh} = 35,5$ , к поверхности которой стремится рассмотренная складчатая оболочка. Критическая нагрузка для этой гладкой сферической оболочки на 20% меньше, чем для соответствующей складчатой оболочки с тремя изломами срединной поверхности.

Графическая иллюстрация полученного решения геометрически нелинейной задачи об устойчивости показывает существенное преимущество складчатых оболочек и соответствующих по размерам гладким.

#### Литература

1. Вольмир, А.С. Устойчивость деформируемых систем [Текст] / А.С. Вольмир. - М.: Наука. - 1967. - 880 с.
2. Колтунов, М.А. Уточненное решение задачи об устойчивости прямоугольных панелей гибких пологих оболочек [Текст] / М.А. Колтунов // Вестник Моск. университета. Сер. Математика и механика. - 1961. - № 3. - С. 37 - 45.
3. Кондратьева, Л.Н. Устойчивость призматических складчатых оболочек под действием поперечной нагрузки [Текст] / Л.Н. Кондратьева // IV Международный симпозиум «Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела». Тверь, 1998. - С. 58 - 59.
4. Михайлов, Б.К. Устойчивость призматической складчатой оболочки в геометрически нелинейной постановке [Текст] / Б.К. Михайлов, Л.Н. Кондратьева // Тр. молодых ученых, СПбГА-СУ, ч. 3. - 1998. - С. 146 - 152.

УДК 536.37:629.7.023

Канд. техн. наук, доц. В.Н. Сокотущенко



## ЗАВИСИМОСТЬ ЧИСЕЛ ФУРЬЕ И ПЕКЛЕ ОТ ОТНОШЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ К РАДИУСУ В ЗАДАЧЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ВДОЛЬ ОБРАЗУЮЩИХ ЦИЛИНДРА

*В статье представлены зависимости некоторых безразмерных комплексов (чисел Фурье и Пекле) от отношения толщины к радиусу цилиндрической оболочки в задаче о распространении тепловых возмущений вдоль образующих цилиндра. Решение этой задачи основано на результатах ряда работ автора [1, 2, 3] по определению скорости распространения теплоты и времени релаксации вдоль образующих цилиндра в зависимости от тепломеханических параметров материала оболочки и её геометрических размеров, которые дополнены графическим представлением зависимостей некоторых безразмерных комплексов (чисел Фурье и Пекле) от отношения толщины к радиусу цилиндрической оболочки.*

Известны решения задач, в которых пренебрежение отношением толщины к наименьшему радиусу кривизны срединной поверхности оболочки по сравнению с единицей приводят к неверным результатам. Область решений таких задач находится в рамках обобщенной термоупругости при использовании гиперболического уравнения теплопроводности в проблеме импульсного нагрева оболочки.

Рассматривая термодинамическую задачу о свободном осесимметричном деформировании цилиндрической оболочки (рис. 1) под воздействием неравномерного поля температуры  $T = T(t, x, \xi)$ ,  $t \geq 0$  в некотором поле объемных сил при отсутствии внешнего поверхностного нагружения и оценивая скорость распространения теплоты вдоль его образующих  $v_\tau$ , получаем следующие формулы:

$$\tau = \tau_{nl} \left[ 1 + \frac{\tau_{nl} a_V}{hR} \left( \ln \frac{1 + \frac{h}{2R} - \frac{h}{R}}{1 - \frac{h}{2R}} \right) \right], \quad v_\tau = \frac{c_R}{\sqrt{1 + \left( \frac{a_V}{c_R R} \right)^2 \left[ \ln \left( \frac{1 + \frac{h}{2R} - \frac{h}{R}}{1 - \frac{h}{2R}} \right)^{R/h} - 1 \right]}} \quad (1)$$

где  $\tau$  – время релаксации;  $v_\tau = \sqrt{a_V / \tau}$  – скорость распространения теплоты;  $c_R$  – скорость распространения поверхностных возмущений;  $a_V$  – коэффициент температуропроводности среды оболочки;  $\tau_{nl}$  – время релаксации при  $1/R = 0$ ;  $h$  – толщина оболочки;  $R$  – радиус оболочки.

Если рассматривать оболочки, удовлетворяющие условию  $h/R < 1$ , то будем иметь:

$$l > \ln \frac{1 + h/(2R)}{1 - h/(2R)} > \frac{h}{R}.$$

Таким образом, из формул (1) с учетом последнего неравенства следует, что поправка на кривизну весьма мала. Вместе с тем можно сделать вывод и о том, что наличие кривизны увеличивает время релаксации и уменьшает скорость распространения теплоты вдоль цилиндра по сравнению с соответствующими параметрами в упругой плоскости. Заметим также, что в рассматриваемой задаче пренебрежение отношением  $h/R$  по сравнению с единицей в выражениях типа  $l \pm h/(2R)$  приводит к противоположному выводу о влиянии кривизны на время  $\tau$  и скорость  $v_\tau$ . Действительно, при этом имеем:

$$\tau = \tau_{nl} \left( 1 - \frac{\tau_{nl} a_V}{R^2} \right), \quad v_\tau = \frac{c_R}{\sqrt{1 - \left( \frac{a_V}{c_R R} \right)^2}}.$$

Если развернуть цилиндрическую поверхность в плоскость, т. е. принять  $1/R = 0$ , то указанные соотношения приводят к одинаковым результатам:  $\tau = \tau_{nl}$ ,  $v_\tau = c_R$ . Таким образом, хотя в рассматриваемой задаче предельные значения времени и скорости при  $1/R$  совпадают, тем не менее, пренебрежение величиной  $h/R$  по сравнению с единицей представляет собой некорректную

физико-математическую процедуру и является неприемлемым для получения упомянутых качественных выводов о влиянии кривизны на время релаксации и скорость распространения теплового поля вдоль образующих упругой цилиндрической оболочки.

Составим безразмерные комплексы, представляющие собой числа Фурье и Пекле:

$$F_0 = \frac{a_V \tau_{nl}}{R^2}; \quad P_e = \frac{C_R R}{a_V}.$$

Откладывая по оси абсцисс отношение толщины оболочки к радиусу, а по оси ординат значения функций:  $f_1 = 1 + \left( \frac{\tau}{\tau_{nl}} - 1 \right) F_0^{-1}$ ;  $f_2 = 1 + \left[ \left( \frac{C_R}{V\tau} \right)^2 - 1 \right] P_e^2$ , получим зависимости безразмерных комплексов (чисел Фурье и Пекле), которые представлены на рис. 2, где линия I соответствует пренебрежению отношением толщины к радиусу, II – наличию релаксации без пренебрежения этим отношением по сравнению с единицей, линии III, IV учитывают релаксацию соответственно, когда отношением толщины к радиусу можно пренебречь и при наличии отношения толщины к радиусу:

$$A \leftrightarrow \tau = 0, \quad B \leftrightarrow \tau \neq 0;$$

$$I \leftrightarrow \tau \neq 0, 1 \pm \frac{h}{R} \rightarrow 1; \quad II \leftrightarrow \tau = \tau_{nl}, 1 \pm \frac{h}{R} \rightarrow 1; \quad III \leftrightarrow \tau \neq 0, 1 \pm \frac{h}{R} \rightarrow 1; \quad IV \leftrightarrow \tau \neq 0, \frac{h}{R} \rightarrow 1.$$

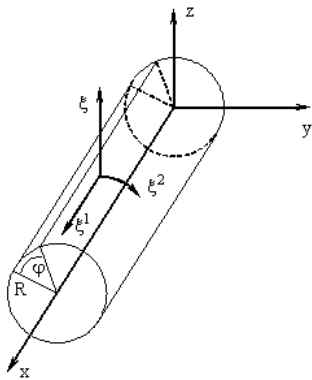


Рис. 1. Цилиндрическая оболочка

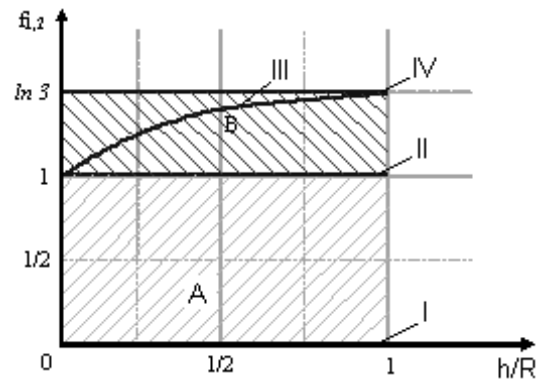


Рис. 2. Зависимость безразмерных комплексов от отношения толщины к радиусу цилиндрической оболочки

Приведённый график даёт наглядное представление о взаимосвязи параметров тепловой инерции с геометрическими размерами оболочки и позволяет с помощью представленной зависимости производить качественную оценку влияния геометрии оболочки на значения промежутков времени релаксации.

#### Литература

1. Сокотущенко, В.Н. Скорость распространения теплоты вдоль образующих цилиндра [Текст] // Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия: Материалы II международного научного симпозиума. – Орёл, 2003. – С. 423 – 427.
2. Сокотущенко, В.Н. Некоторые следствия тепловой инерции в различных средах [Текст] / В.Н. Сокотущенко. – ОрёлГТУ, 2006. – 87 с.
3. Сокотущенко, В.Н. Основные уравнения теории оболочек с приложениями к задачам теплопроводности [Текст] / В.Н. Сокотущенко. – ОрёлГТУ, 2006. – 183 с.

Канд. техн. наук, доц. А.В. Турков, асп. П.А. Гвозков  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862) 76-39-92

## АНАЛИЗ РАБОТЫ СОСТАВНОЙ БАЛКИ ПРИ УСИЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*В статье приводится анализ зависимости жесткости составных балок от числа вертикальных связей, соединяющих слои, и граничных условий подкрепляющей балки.*

В настоящее время в нашей стране ведутся значительные работы по реконструкции зданий и сооружений. При этом часто возникает необходимость усиления конструкций с целью повышения их несущей способности или жесткости.

Для усиления балок используются поддерживающие балки (балки усиления), в результате чего получаются составные стержни, причем материал поддерживающей конструкции может отличаться от материала усиливаемой балки. Отдельные элементы составного стержня при этом соединяются между собой связями, которые могут быть как непрерывно распределенными по длине стержня, так и сосредоточенными в отдельных сечениях.

При усилении конструкций балочного типа наращиванием или подращиванием большое значение имеют количество связей между слоями и вида граничных условий каждого слоя [1]. Поэтому целью настоящей работы является исследование влияния указанных факторов на несущую способность и жесткость составных конструкций.

Рассмотрим двухслойную балку (рис. 1), оба слоя которой шарнирно оперты и имеют одну поперечную связь в середине пролета. Поперечная связь длиной  $\ell$  имеет бесконечную жесткость и воспринимает только растягивающие усилия. Слои составной балки имеют разную жесткость и связаны зависимостью  $EI_1 = KEI_2 = 2EI_2$ .

Заданная система один раз статически неопределима. Выберем основную систему метода сил (рис. 1, б) и запишем каноническое уравнение:

$$X_1 \cdot \delta_{11} + \Delta_{1P} = 0. \quad (1)$$

Для определения коэффициента и свободного члена канонического уравнения построим эпюры изгибающих моментов  $\overline{M}_1$  в основной системе от единичного усилия  $X_1 = 1$  (рис. 1, в) и от внешней нагрузки  $M_p$  (рис. 1, г). Решая уравнение (1), находим усилие  $X_1 = 5/24 \cdot ql$  и строим окончательную эпюру изгибающих моментов  $M_{ок}$  по формуле:  $M_{ок} = X_1 \cdot \overline{M}_1 + M_p$  (рис. 1, е).

Определим максимальный прогиб балки, перемножив эпюры от единичной силы  $\overline{M}_1^*$ , приложенной к основной системе в ее середине, и  $M_{ок}$  при  $K = 2$ :

$$W_o = \frac{5}{576} \frac{ql^4}{EI_1}.$$

При использовании соотношения жесткостей  $EI_1 = KEI_2$  после проведения аналогичных вычислений, получим зависимость для определения максимального прогиба в общем виде:

$$W_o = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI_1} \left( 1 - \frac{1}{1+K} \right).$$

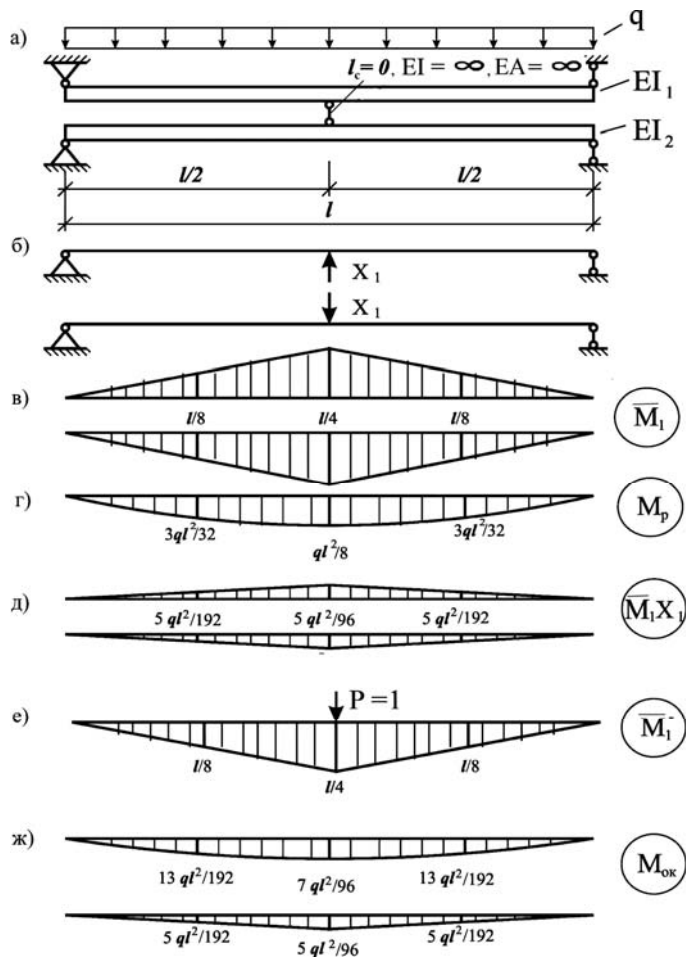


Рис. 1

Рассмотрим двухслойную балку с одной поперечной связью при различных граничных условиях усиливаемой и поддерживающей балок: 1) один слой (верхний) шарнирно оперт, а другой жестко защемлен; 2) один слой (верхний) жестко защемлен, а другой шарнирно оперт; 3) оба слоя жестко защемлены. Решив эти задачи, сведем полученные результаты в таблицу 1.

Таблица 1

Значения максимальных изгибающих моментов и прогибов в составных балках с одной поперечной связью при  $K = 2$

| Расчетная схема | Изгибающий момент, $ql^2$ |              | Прогиб, $ql^4/EI$ |
|-----------------|---------------------------|--------------|-------------------|
|                 | верхней балки             | нижней балки |                   |
| 1               | 2                         | 3            | 4                 |
|                 | 0,0729                    | 0,0521       | 0,00868           |
|                 | 0,0208                    | 0,1805       | 0,00434           |
|                 | 0,034                     | 0,0521       | 0,004629          |
|                 | 0,0208                    | 0,0208       | 0,001736          |

Аналогичные расчеты проведены для составной балкой, имеющей три поперечные связи, расположенные в четвертях пролета; результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значение максимальных изгибающих моментов и прогибов в составных балках с тремя поперечными связями при  $K = 2$

| Расчетная схема   | Изгибающий момент, $ql^2$ |              | Прогиб, $ql^4/EI$ |
|---|---------------------------|--------------|-------------------|
|   | верхней балки             | нижней балки |                   |
| 1   | 2                         | 3            | 4                 |
|  | 0,0818                    | 0,0432       | 0,0053            |
|  | 0,0111                    | 0,0424       | 0,00216           |
|  | 0,022                     | 0,0433       | 0,0034            |
|  | 0,019                     | 0,0115       | 0,00165           |

Анализ представленных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- увеличение количества связей между слоями составной балки приводит к увеличению ее изгибной жесткости и к уменьшению максимального прогиба;
- наиболее рациональной является схема подкрепления балки с любыми граничными условиями жестко защемленной балкой, расположенной снизу.

#### Литература

1 Ржаницын, А.Р. Строительная механика [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Высшая школа, 1991. – 439 с.

Член-корр. РААСН, докт. техн. наук, проф. В.С. Федоров, асп. Фам Фук Тунг

(Московский государственный университет путей сообщения)

Россия, г. Москва

Докт. техн. наук, проф. Вл.И. Колчунов

(Национальный авиационный университет)

Украина, г. Киев

## РАСЧЕТ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ РАСТЯЖЕНИИ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ

Характерной особенностью железобетона является наличие трещин при сопротивлении его силовым и деформационным воздействиям. Железобетонные конструкции, как правило, эксплуатируются в стадии, наступающей после образования трещин, ограничивается лишь ширина их раскрытия. Привлечение к расчету ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций инструментария механики разрушения, безусловно, позволяет достичь заметного уточнения этого дифференциального параметра, измеряемого в опытах с помощью микроскопа. Однако для практического использования новые константы бетона, полученные на основе зависимостей механики разрушения, должны пройти еще соответствующую апробацию. Здесь важно отказаться от использования искусственных надрезов и трещин при их определении, т. к. радиусы кончиков естественных трещин отличаются на несколько порядков. Тем не менее, анализ двухконсольного элемента, используемого в механике разрушения, уже сегодня может принести положительные результаты в расчете ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций. Для начала рассмотрим это применительно к центральному растяжению.

В основу расчета положены следующие *основные предпосылки*:

- связь между напряжениями и деформациями арматуры и бетона принимаем в виде трилинейных и билинейных диаграмм, аппроксимирующих действительные;
- образование трещин происходит после достижения растянутыми волокнами бетона предельных деформаций. В процессе нагружения выделяется несколько уровней трещинообразования. Расстояния между трещинами последующего уровня меньше либо равно половине расстояния между трещинами предыдущего уровня;
- раскрытие трещин - это накопление относительных условных сосредоточенных взаимных смещений арматуры и бетона на участках, расположенных по обе стороны от трещины (рис. 1) - развитие гипотезы Томаса-Гольшева [1];

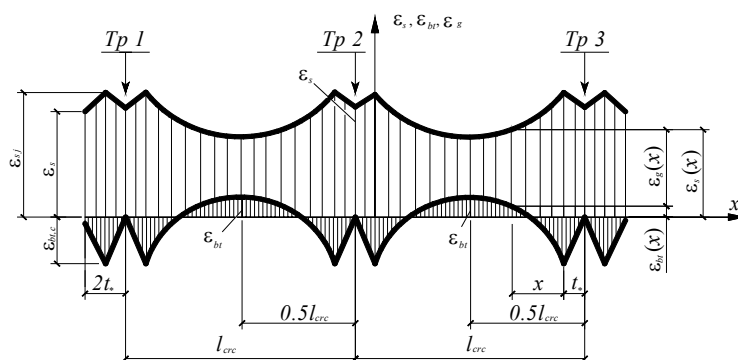


Рис. 1. Трещинообразование, деформации бетона  $\varepsilon_{bt}(x)$  и арматуры  $\varepsilon_s(x)$  и их относительные взаимные смещения  $\varepsilon_g(x)$  в железобетонных элементах при центральном растяжении

- связь между напряжениями сцепления и относительными условными сосредоточенными взаимными смещениями бетона и арматуры на расстоянии 40 мм от поверхности контакта принимается в виде диаграммы, приведенной на (рис. 2);

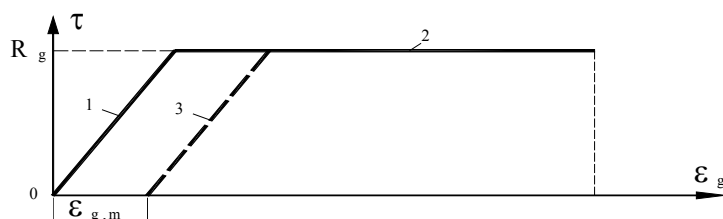


Рис. 2. Диаграмма  $\tau - \varepsilon_g$ : 1 – участок упругого сопротивления; 2 – участок пластического сопротивления; 3 – зависимость  $\tau - \varepsilon_g$ , принятая в работах НИИСК [1];  $\varepsilon_{g,m}$  – относительные деформации взаимного смещения арматуры и бетона в среднем сечении между трещинами;  $R_g$  – предельное значение напряжений сцепления

- учитывается депланация бетона в сечении с трещиной в зависимости от расстояния от поверхности контакта с арматурой;
- учитывается дополнительное деформационное воздействие в трещине, связанное с нарушением сплошности материала.

Из рис. 1 следует, что относительные взаимные смещения арматуры и бетона определяются из зависимости:

$$\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s(x) + \varepsilon_{bt}(x), \tag{1}$$

где  $\varepsilon_s(x)$  - относительные деформации арматуры;

$\varepsilon_{bt}(x)$  - относительные деформации бетона в сечении  $x$ .

Таким образом, задача по определению  $a_{crc}$  сводится к нахождению относительных деформаций арматуры  $\varepsilon_s(x)$  и окружающего ее бетона -  $\varepsilon_{bt}(x)$ .

Деформации  $\varepsilon_s(x)$  отыскивают из условия:

$$\varepsilon_s(x) = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - \frac{S_s}{A_s E_s} \int_0^x \tau(x) dx, \tag{2}$$

где  $S_s$  - периметр поперечного сечения арматуры;

$\varepsilon_s$  - деформации арматуры в трещине;

$\Delta T$  - результирующая условных касательных напряжений в местной зоне, прилегающей к трещине (для железобетонных растянутых элементов определяется из специальной расчетной схемы, предложенной авторами);

$\tau(x)$  - условные касательные напряжения.

К условности параметра  $\tau(x)$  добавляется еще и то, что арматура моделируется (независимо от ее профиля) цилиндрическим стержнем, хотя в действительности поверхность арматуры имеет более сложную форму.

Анализ характера эпюры  $\varepsilon_{bt}(x)$ , выполненный с привлечением опытных данных [2], показывает, что при определенной величине нагрузки деформации бетона на участках, примыкающим к трещинам, начинают уменьшаться и даже меняют знак, деформации же бетона в середине участка между трещинами продолжают увеличиваться до тех пор, пока в этом месте не появляется новая трещина. Анализ характера эпюры  $\varepsilon_{bt}(x)$  показывает необходимость (см. рис. 1) учета деформационного воздействия в трещине с использованием двухконсольного элемента [3].

Деформации бетона  $\varepsilon_{bt}(x)$  определяются из условия равновесия блока, расположенного между сечением с трещиной и сечением, проходящим на расстоянии  $t_* + x$  от трещины (рис. 3):

$$\varepsilon_{bt}(x) = \frac{\varepsilon_s A_s E_s - \varepsilon_s(x) A_s E_s}{\omega_{bt}(x) A_{bt}(x) E_b \nu_{bt}(x)}, \tag{3}$$

где  $\omega_{bt}(x)$  и  $\nu_{bt}(x)$  - соответственно коэффициент полноты эпюры деформаций и коэффициент упругости растянутого бетона в сечении  $x$  на участке между трещинами (произведение  $\omega_{bt}(x) \cdot \nu_{bt}(x)$  близко к 0,5);  $A_{bt}(x)$  – растянутая площадь сечения бетона в сечении  $x$ .

Подставляя (2) и (3) в (1), после соответствующих преобразований, получим:

$$\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{KE_s A_s} - \frac{S_s}{K \cdot A_s E_s} \int_0^x \tau(x) dx. \quad (4)$$

Здесь  $\frac{1}{K} = 1 + \frac{A_s E_s}{\omega_{bt}(x) A_{bt}(x) E_b \cdot \nu_{bt}(x)}$ ; (5)

$$t = \omega_{bt}(x) A_{bt}(x) E_b \nu_{bt}(x); \quad (6)$$

$$Z_s \approx Z_s(x) \approx Z. \quad (7)$$

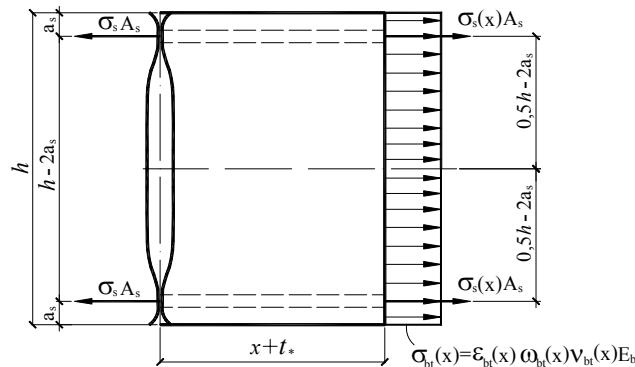


Рис. 3. Расчетная схема к определению  $\varepsilon_{bt}(x)$

Принимая во внимание многолетние экспериментальные и численные исследования, приведенные в работах [1, 3, 4], а, также основываясь на замене железобетонного элемента расчетной моделью, обладающей свойствами близкими к реальным, расчетные формулы можно упростить:

$$\frac{1}{K} = 1 + 2\mu\alpha; \quad (8)$$

$$t = \frac{A_s E_b}{2\mu}, \quad (9)$$

где  $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$ ;  $\mu = \frac{A_s}{bh_0}$ .

Из рис. 2 следует, что для наклонного участка диаграммы (соответствующего второй группе предельных состояний):

$$\tau(x) = G\varepsilon_g(x), \quad (10)$$

где  $G$  - модуль деформаций сцепления арматуры с бетоном (для обычных бетонов классов В15-В45 при стержневой арматуре периодического профиля величина  $G$  изменяется в пределах  $(0,3...0,4)E_b$ .

Заметим, что зависимость  $\tau - \varepsilon_g$ , принятая в работах НИИСК [1, 2 и др.], не проходит через начало координат. Здесь уместно подчеркнуть тот факт, что при правильной интерпретации экспериментальных данных оказывается, что на участке между трещинами имеется не один участок (как это принято по теории проф. Мурашова и его последователями), а два качественно разных участка. Причем на участке, прилегающем к трещине, касательные напряжения меняют знак. Вот почему зависимость  $\tau - \varepsilon_g$ , принятая в работах НИИСК [1, 2 и др.], не проходила через начало координат - здесь не было учтено наличие второго участка, где касательные напряжения изменяют знак.

Выражение (4) с учетом (10) принимает вид:

$$\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{KE_s A_s} - B \int_0^x \varepsilon_g(x) dx, \quad (11)$$

где  $B$  - параметр сцепления арматуры с бетоном, принимаемый равным:

$$B = \frac{S_s G}{K \cdot A_s E_s}. \quad (12)$$

После дифференцирования получаем:



$$\frac{d\varepsilon_g(x)}{dx} + B\varepsilon_g(x) = 0, \quad (13)$$

Решение однородного дифференциального уравнения первого порядка (13) имеет вид:

$$\varepsilon_g(x) = C \cdot e^{-Bx}. \quad (14)$$

Постоянную интегрирования  $C$  находят из граничного условия, в соответствии с которым

при  $x=0$ ,  $\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{A_s E_s} + \frac{\sigma_{bt,c}}{\nu_b E_b}$ :

$$C = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{A_s E_s} + \frac{\sigma_{bt,c}}{\nu_b E_b}. \quad (15)$$

Здесь граница между участками I и II определена приближенно - распределение напряжений в бетоне (рис. 4) отыскивается в виде одной элементарной функции (более точно следовало бы описать это распределение на каждом участке отдельной функцией).

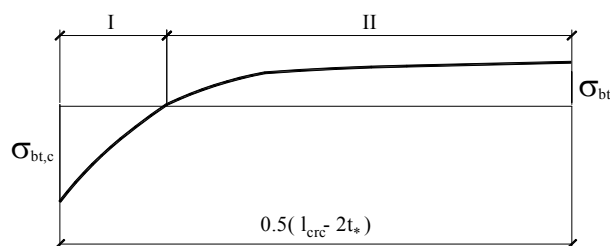


Рис. 4. Распределение напряжений в бетоне в виде одной элементарной функции

Тогда:  $\varepsilon_g(x) = \left( \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} + \frac{\sigma_{bt,c}}{\nu_b E_b} \right) e^{-Bx}$ . (16)

В соответствии с третьей предпосылкой, можно записать:

$$a_{crc} = 2 \int_0^{t_s} \varepsilon_g(x_1) dx_1 + 2 \int_0^{0.5l_{crc}-t_s} \varepsilon_g(x) dx. \quad (17)$$

После интегрирования получим:

$$a_{crc} = \frac{2\Delta T}{G} + \frac{2B_3}{B} (1 - e^{-B(0.5l_{crc}-t_s)}), \quad (18)$$

где  $B_3 = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} + \frac{\sigma_{bt,s}}{\nu_b E_b}$ . (19)

При выполнении практических расчетов ширину раскрытия трещин, вычисленную по формуле (18), следует умножить на коэффициент  $k_r$ , учитывающий депланацию бетона в сечении с трещиной и также умножить на коэффициенты  $\varphi_1$ ,  $\eta$ , которые учитывают длительность действия нагрузки и профиль поверхности арматуры соответственно, и определяемые в соответствии с нормативными документами. Депланация в сечении с трещиной (рис. 5) учитывается с помощью коэффициента  $k_r$ .

Коэффициент  $k_r$  определяется в соответствии с результатами исследований [4]. Их анализ показывает, что для практических расчетов можно рекомендовать упрощенную зависимость (рис. 6):

$$k_r = -0.088533 \left( \frac{r}{d_s} \right)^2 + 0.522666 \left( \frac{r}{d_s} \right) + 0.308801, \quad (20)$$

где  $d_s$  - диаметр арматуры;

$r$  - радиус пограничного слоя.

Полученные зависимости (18), (19) и (20) учитывают влияние ряда важных факторов, таких как: деформация арматуры в сечении с трещиной, расстояние между трещинами, параметры сцепления  $B$  арматуры с бетоном, геометрические характеристики сечения и характеристики бетона и

арматуры, депланация бетона на поверхности конструкции по отношению к радиусу пограничного слоя, деформационный эффект (возникающий в железобетонном элементе после нарушения сплошности), длительность действия нагрузки и профиль поверхности арматуры.

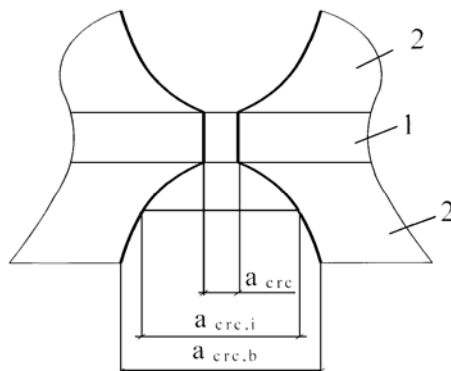


Рис. 5. Депланация в сечении с трещиной

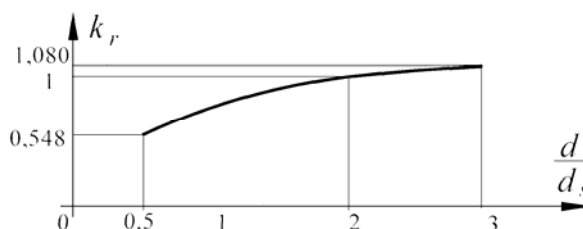


Рис. 6. График зависимости  $k_r - \frac{d}{d_s}$

#### Выводы

Предложена формула для определения ширины раскрытия трещин центрально растянутых железобетонных конструкций с учетом эффекта нарушения сплошности, базирующаяся на традиционных предпосылках теории железобетона и положениях механики разрушения, позволяющая заметно приблизить этот важнейший расчетный параметр к действительному.

Установлено, что ширина раскрытия трещин зависит от параметра сцепления и увеличивается с ростом деформаций в арматуре, но уменьшается с изменением расстояния между трещинами. Т.к. с возрастанием нагрузки деформации арматуры растут, а расстояние между трещинами уменьшается, то на  $a_{cr,c}$  действуют противоположно направленные факторы.

Существенное влияние на ширину раскрытия трещин оказывает и деформационный эффект, возникающий в железобетонном элементе после нарушения сплошности, выраженный через результирующую условных касательных напряжений  $\Delta T$  в местной зоне, прилегающей к трещине, а также депланация бетона в сечении с трещиной.

#### Литература

1. Голышев, А.Б. Проектирование железобетонных конструкций [Текст]: Справ, пособие / А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук, А.В. Харченко, И.В. Руденко. - К.: Будівельник, 1990. - 544 с.
2. Шмурадов, Б.Ш. Ширина раскрытия нормальных трещин в железобетонных элементах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. - Киев, 1987. - 191 с.
3. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона [Текст]: Монография / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. - М.: АСВ, 2004. - 472 с.
4. Городецкий, Л.М. Исследования образования и развития трещин в элементах конструкций из плотного силикатного бетона [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. - Киев, 1973. - 32 с.

#### **БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Канд. техн. наук, доц. Д.В. Данилевич, канд. техн. наук, доц. Н.В. Бакаева  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел

## К АНАЛИЗУ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*В статье анализируются результаты мониторинга фактического состояния системы обеспечения электробезопасности учреждений высшего профессионального образования федеральных округов субъектов Российской Федерации. Выделяются основные проблемы в обеспечении электробезопасности объектов образования. Предлагаются основные направления совершенствования существующей системы.*

Попытка оздоровления системы образования, предпринимаемая правительством Российской Федерации и поставленная в рамки национального проекта, безусловно заслуживает пристального внимания. Действительно, качество российского образования напрямую зависит как от материально-технического оснащения образовательных учреждений, так и от уровня достатка специалистов, занятых в этой отрасли.

В данной статье ограничимся обсуждением лишь первой части поставленной проблемы, а точнее факторов, ограничивающих или даже препятствующих обеспечению безопасности общества в целом и безопасности объектов системы образования.

В качестве примера, свидетельствующего о важности данного вопроса, приведем данные мониторинга фактического состояния системы обеспечения безопасности образовательных учреждений (2006 г.), полученные в рамках научного проекта «Разработка концепции обеспечения безопасности объектов системы высшего профессионального образования и целевой программы предупреждений и защиты от чрезвычайных и кризисных ситуаций» [1, 2, 3].

Мониторинг состояния системы безопасности включал выявление источников опасности (угроз), мероприятий и уровня технической защиты, организационных и информационно-пропагандистских мероприятий, а также ожидаемых затрат финансовых средств.

Анкетирование проводилось в учреждениях высшего профессионального образования по всем субъектам Российской Федерации. По результатам мониторинга были получены данные от 175 государственных вузов и их филиалов для 70 субъектов Российской Федерации.

Опрос и оценка уровня электробезопасности учреждений ВПО проводились по следующим факторам: а) численность обучающихся; б) количество учебных корпусов и общежитий в учреждении; в) наличие защитного отключения электроэнергии; г) подтверждено ли документацией соответствие электросети и электрооборудования нормам эксплуатационных нагрузок; д) наличие ограждений и знаков безопасности электрооборудования; е) оснащены ли специальные лаборатории средствами индивидуальной и коллективной защиты от электропоражения.

Проведенный мониторинг выявил, что уровень электробезопасности объектов образования по всем федеральным округам в среднем составляет 72% (рис. 1).

Если оценивать дифференцированно уровень электробезопасности, то наиболее высокий показатель выявлен в Дальневосточном федеральном округе, в то время как наиболее низкий уровень отмечен в Уральском и Южном федеральных округах. Необходимо отметить, что наиболее высокие показатели электробезопасности отмечаются в округах, имеющих высокий уровень потребления электроэнергии вследствие климатических особенностей, а, следовательно, учитывающих эти особенности при проектировании электросети.

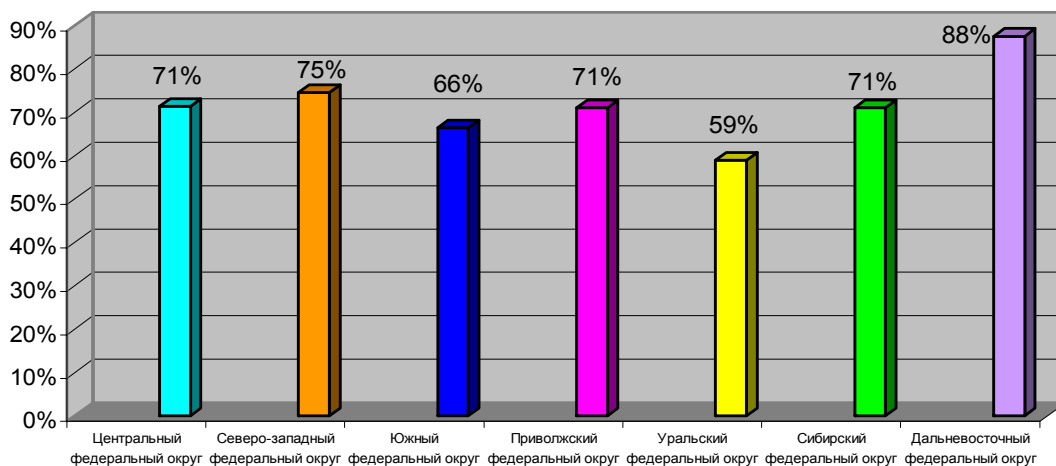


Рис. 1. Уровень электробезопасности объектов ВПО в Федеральных округах Российской Федерации

При оценке значимости анализируемых факторов электробезопасности установлено следующее.

Первоочередными и наиболее важными факторами в настоящее время является соответствие электросети и электрооборудования нормам эксплуатационных нагрузок, что гарантирует безопасное функционирование объектов ВПО с технической стороны. При этом следует отметить, что процент пожаров, связанных с неисправностями электропроводки и короткими замыканиями в электросети, достигает 60% от общего числа пожаров. Однако по данным анкетирования только 80% вузов располагает документами, подтверждающими соответствие электросети (ГОСТ Р 50571.15-97 (МЭК 364-5-52-93) Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки) и электрооборудования нормам эксплуатационных нагрузок (СП 31-110-2003). В результате оставшиеся 20% вузов подвергаются риску, расширяя свою лабораторную базу, организуя новые компьютерные и мультимедийные классы, закупая оргтехнику.

Следующим фактором, позволяющим повысить уровень электробезопасности в случае непредвиденных обстоятельств, а также человеческого фактора, является наличие защитного отключения электроэнергии (ГОСТ Р 50807-95 (МЭК 755-83) Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний). Проведенный мониторинг выявил наличие защитного отключения электроэнергии в 73% вузов.

Факторы «Оснащенность специальных лабораторий средствами индивидуальной и коллективной защиты от электропоражения» и «Наличие ограждений и знаков безопасности электрооборудования» характеризуют уровень защищенности студентов и персонала вузов от поражений электрическим током (ГОСТ Р 50571.8-94 (МЭК 364-4-47-81) Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Общие требования по применению мер защиты для обеспечения безопасности. Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током). Однако по данным анкетирования эти показатели соответственно обеспечены у 48% и 80% вузов. Недопустимо низкий уровень оснащенности лабораторий средствами индивидуальной и коллективной защиты от электропоражения говорит о неподготовленности лабораторий к проведению занятий и недопустимости проведения таковых.

Важнейшей причиной плохого положения в области безопасности системы образования, сложившегося к настоящему моменту, является кризис законодательного обеспечения безопасности среды жизнедеятельности. Это отчетливо видно на примере Федерального закона «О техническом регулировании», вступившего в силу в 2003 году. Ни один технический регламент на сегодняшний день не принят [4]. Наряду с этим значительную трудность в организацию безопасности среды жизнедеятельности вносят несколько тысяч действующих нормативных документов по эксплуатации объектов, содержащих нормы безопасности, включая национальные стандарты на строительные материалы, изделия, конструкции и документы различных отраслей. Формирование заявленного зако-

нодательства по обеспечению безопасности среды жизнедеятельности должно проводиться с сохранением действующего законодательства, его модернизации с учетом современных опасностей и угроз применительно к конкретным сферам деятельности, в том числе и образования.

Для обеспечения бесперебойной работы всех технических подсистем безопасности и, в свою очередь, защиты контингента студентов, преподавателей и сотрудников от поражения электрическим током, а также исключения возможности возникновения пожаров по вине неисправности или несоответствия электросети нормам эксплуатационных нагрузок необходимо предусматривать следующие мероприятия:

- наличие системы гарантированного электропитания;
- наличие защитного отключения электроэнергии;
- соответствие электросети и электрооборудования нормам эксплуатационных нагрузок;
- наличие ограждений и знаков безопасности электрооборудования;
- оснащение средствами индивидуальной и коллективной защиты от электропоражения специальных лабораторий.

В рамках комплексной системы обеспечения безопасности должно предусматриваться резервное питание от аккумуляторов наиболее важных компонентов комплекса – главного сервера, компьютеров системы безопасности, основных контроллеров и пр., а в практику следует ввести новые механизмы, стимулирующие пользователей системы стремиться к достижению показателей безопасной эксплуатации объектов образования.

Таким образом, модернизация инженерно-технической базы и внедрение комплексной системы обеспечения безопасности образовательных учреждений должны осуществляться адресно, с учетом вероятностного характера возникновения угроз, на основе принципа «эффективность-стоимость», что позволяет избежать излишних затрат на создание и эксплуатацию системы.

#### Литература

1. Разработка концепции и федеральной целевой программы «Безопасность образовательного учреждения: отчет о НИР (заключ.) [Текст] / Орловский государственный технический университет; науч. рук. В.А. Голенков, отв. исполн. В. И. Колчунов. – Орел: ОрелГТУ, 2005. – 98 с.
2. Разработка концепции обеспечения безопасности объектов системы высшего профессионального образования и целевой программы предупреждений и защиты от чрезвычайных и кризисных ситуаций: отчет о НИР (промеж.) [Текст] / Орловский государственный технический университет; науч. рук. В.И. Колчунов, отв. исполн. Д.В. Данилевич, Н.В. Бакаева. – Орел: ОрелГТУ, 2006. – 171 с.
3. Степанов, Ю.С. К анализу фактического состояния обеспечения пожарной безопасности на объектах высшего профессионального образования [Текст] / Ю.С. Степанов, Д.В. Данилевич, Н.В. Бакаева // Вестник МЧС России «Технологии гражданской безопасности». - 2006.
4. Теличенко, В.И. Концепция законодательного обеспечения безопасности среды жизнедеятельности [Текст]: труды общего собрания РААСН «Проект и реализация – гаранты безопасности жизнедеятельности» / В.И. Теличенко, М.Ю. Слесарев, Е.А. Король. – М., 2006. – С. 236 - 241.

*Канд. техн. наук, доц. А.И. Никулин, канд. техн. наук, доц. Г.П. Короткий,  
ст. преп. О.Н. Юшкова  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел*

## **ОПЫТ США В РАЗРАБОТКЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ПРИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ АТАКАХ**

*В статье приводится обзор разработанных в США рекомендаций по снижению уровня криминальных и террористических проявлений в образовательных учреждениях. Рассмотрена общая концепция обеспечения безопасности среды обитания в американских школах. Даются некоторые конкретные рекомендации по изменению архитектурных, конструктивных и объемно-планировочных решений школьных зданий с целью повышению уровня их безопасности при террористических атаках.*

В настоящее время в России и в других странах СНГ сложился кризис законодательного обеспечения безопасности среды жизнедеятельности человека. Это связано с практиковавшейся в бывшем СССР ориентацией на отраслевой подход к регламентированию многочисленных социально-экономических и инженерно-строительных факторов. Следствием такого подхода является фрагментарность видения реальных опасностей для среды жизнедеятельности человека.

Для России это подтверждается также тем, что до настоящего времени вступивший в силу в 2003 году Федеральный Закон «О техническом регулировании» не реализован в системе действия общих и специальных технических регламентов. Ни одного технического регламента до сих пор не принято.

Сложившаяся ситуация заставляет наше общество и государство обратить самое пристальное внимание также и на решение проблемы комплексной безопасности образовательных учреждений. Серьезную озабоченность у всех людей в России вызывает ставшая реальностью после трагедии в Беслане угроза террористических и других криминальных проявлений по отношению к образовательным учреждениям. Объекты образования являются местами массового скопления людей, т. е. потенциальной целью террористов. Наряду с мерами, которые в связи с этим принимаются спецслужбами и правоохранительными органами, должны быть разработаны необходимые организационные мероприятия и надежные технические системы охраны для образовательных учреждений, которые позволят исключить преступления или существенно снизить возможный ущерб от их осуществления.

Полное решение проблемы возможно лишь на основе комплексного подхода к ее решению и интеграции всех средств обеспечения безопасности в единую систему безопасности. При этом очень полезно использовать опыт зарубежных, в первую очередь, высокоразвитых стран, где существуют и достаточно успешно решаются подобные проблемы, в частности в США [1].

Одной из концепций, принятой за основу в США при разработке рекомендаций по обеспечению безопасности образовательных учреждений, является стратегия "Crime prevention through environment design" (CPTED), что переводится как "предотвращение преступлений путём обустройства среды обитания". Основоположником философии CPTED является американский криминолог С. Рэй Джеффри, который ещё в 1971 г. выпустил книгу под соответствующим названием. Позднее эта стратегия неоднократно дорабатывалась, а последняя работа этого автора была опубликована в 1990 г. Из более поздних моделей, разработанных на основе этой стратегии, самой популярной является модель Кроува [1].

Стратегия CPTED основывается на необходимости применения специальных мер, способных повлиять соответствующим образом на решения, принимаемые правонарушителями, перед тем как совершить преступление. Исследования криминального поведения показывают, что в основном на решение о совершении или не совершении преступления влияют сигналы о возможном риске быть пойманным, нежели сигналы о прибыли или относительно легком проникновении. В соответствии

с этими исследованиями в основе мероприятий CPTED лежит создание условий, способствующих увеличению риска обнаружения и задержания преступника на начальных этапах совершения правонарушения, в том числе террористической атаки.

Первое реальное внедрение стратегии CPTED в образовательных учреждениях проходило в США в 2004 г. и основывалось на постулате, что правильное проектирование школьного здания и примыкающей к нему территории может уменьшить преступность и повысить безопасность среды обитания.

Сегодня в рамках теоретических положений CPTED обязательными к внедрению являются четыре основные группы мероприятий по обустройству среды обитания в образовательных учреждениях:

- непрерывное визуальное наблюдение;
- установление контроля естественного доступа;
- укрепление примыкающей к школьным зданиям территории;
- укрепление уязвимых мест в зданиях и сооружениях.

*Визуальное наблюдение* ограничивает возможности совершения преступлений, т. к. охраной быстро принимаются меры по обнаружению и обезвреживанию правонарушителя. Это достигается разработкой и внедрением таких конструктивных и объемно-планировочных решений зданий, которые позволяют увеличить обзорность всех непосредственно примыкающих к школе территорий, включая наиболее вероятные подходы к их границам. Потенциальные правонарушители должны чувствовать постоянный контроль со стороны охранников и опасаться сложностей на пути их возможного проникновения в здание и последующего отступления.

Вот некоторые рекомендации из этой группы мероприятий:

- из окон охраны должны полностью просматриваться тротуары и автостоянки;
- жалюзи, занавески и шторы в помещениях охраны и других должны быть открытыми;
- ландшафтный дизайн должен обеспечивать хорошее наблюдение за пространством, особенно в непосредственной близости от входов и мест, которые могут быть использованы для проникновения в здание; например, нижние ветви деревьев должны находиться на высоте не менее 3-х метров от земли;
- ограждение территории не должно быть глухим и высоким, чтобы не затруднять обзор;
- входы в школьное здание должны быть оборудованы прозрачными вестибюлями;
- расстановка светильников для освещения территории в вечернее время должна исключать затемненные не просматриваемые наблюдателями участки; хорошо освещенными должны быть следующие зоны: проходы, лестницы, входы в здание, парковки, телефонные будки, автобусные остановки, игровые площадки, складские помещения, хозяйственные постройки и т. д.;
- охранное освещение не должно быть слишком ярким, чтобы не ослеплять и не создавать наблюдателям затруднений для визуального наблюдения; глаза человека привыкают к ночному освещению и не могут сразу настроиться на более яркое освещение;
- светильники для освещения тротуаров и пешеходных дорожек должны быть расположены на такой высоте, чтобы можно было освещать лица находящихся здесь людей и легко идентифицировать потенциальных нарушителей.

Мероприятия визуального наблюдения могут быть дополнены применением технических средств. Например, камеры наблюдения могут быть установлены там, где наблюдение через окна невозможно или затруднено.

*Контроль естественного доступа* должен осуществляться посредством четкого разграничения внешнего пространства и внутренней школьной территории. Необходимо правильно размещать входы в здание, ограждения, освещение и создавать такой ландшафт, чтобы ограничить несанкционированные перемещения посторонних людей и осуществлять постоянный контроль за входами.

Основные рекомендации из этой группы мероприятий следующие:

- главный вход в здание, а также на территорию должен быть единственным, ясно различимым;
- необходимо использовать специальные ограждения, чтобы направлять всех людей к месту входа в здание под контролем охраны;
- в качестве ограждений для пешеходных дорожек необходимо использовать низкорослые, колючие кустарники высотой не более одного метра от земли;



– конструктивные элементы здания, обеспечивающие легкий доступ на крышу здания или на верхние этажи, должны быть устранены или реконструированы.

*Укрепление территории* обеспечивает возможность контроля за порядком в школьном пространстве не только со стороны охраны, но и любым участником образовательного процесса, для которого это «своя» среда обитания. Четко обозначенная ограждениями территория школы выполняет две функции. Во-первых, это вырабатывает у школьников, учителей и сотрудников чувство собственности. Люди будут заинтересованы в охране своей территории, и есть большая вероятность того, что они сами дадут отпор нарушителю или сообщат о правонарушении в правоохранительные органы. Во-вторых, чувство владения каким-либо пространством создает среду, где «чужие» или «самозванцы» выделяются и их легко обнаружить. В качестве границ школьной территории используются заборы, тротуары, знаки, освещение, различные элементы благоустройства и т.д.

*Укрепление уязвимых мест* достигается необходимыми мерами, которые запрещают несанкционированный вход или доступ в здание:

- конструкции дверных коробок должны быть выполнены из материалов, затрудняющих их механический взлом;
- дверные петли должны располагаться на внутренней стороне двери;
- на всех внешних дверях устанавливаются высокопрочные врезные замки с блокировкой засова.

Разработчики стратегии CPTED справедливо считают, что наибольшего успеха можно достичь, когда школьная среда обитания наиболее удобна для всех участников образовательного процесса, и когда в процессе реализации предлагаемой стратегии используются совместные усилия проектировщиков зданий, строителей, общественности и сотрудников правоохранительных органов.

Также очевидно, что представленные здесь рекомендации из стратегии CPTED не являются исчерпывающими для обеспечения безопасности образовательных учреждений, не заменяют собой других мероприятий аналогичного назначения и должны использоваться в комплексе с ними.

Рекомендации данной стратегии могут быть использованы при разработке ведомственных норм и специальных регламентов по обеспечению комплексной безопасности образовательного процесса для всех вновь проектируемых и реконструируемых объектов образовательных учреждений, поскольку, как правило, не требуют больших материальных затрат и могут быть легко реализованы в любой школе.

Работа выполнена в рамках выполнения проекта по Программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

#### Литература

1. Moore, J. Florida Safe Schools Design Guidelines [Electronic resource] / James A. Moore, Daniel S. Powers. – <http://fccdr.usf.edu/upload/projects/safeschool/safeschools.pdf>. – 1993. – 359 p.



Канд. экон. наук, доц. О.М. Никулина  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862) 76-39-92

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЫНОЧНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕОБХОДИМОГО УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

*В основу предлагаемого подхода технико-экономического обоснования организационно-технических мероприятий по обеспечению необходимого уровня безопасности среды обитания образовательных учреждений положен метод ФСА в сочетании с обобщенной функцией желательности Харрингтона. Методика позволяет на предварительном этапе проанализировать не только осуществимость проектов и определить их ценность и полезность, но и выявить оптимальное сочетание стоимости и приемлемого уровня качества с точки зрения потребителя и производителя данного проекта [1].*

Предлагаемый подход реализуется в несколько этапов.

На первом этапе с использованием общепринятых подходов осуществляется предварительное технико-экономическое обоснование и разработка вариантов реализации организационно-технических мероприятий (проекта).

На втором этапе оценка проекта осуществляется на основании комплекса показателей, входящих в два блока: оценка функциональных свойств внедряемых технических решений и полезность полученного результата для потребителей. В основе оценки функциональных свойств проекта лежат основные принципы ФСА.

При выполнении второго этапа предложенной методики необходимо уточнить общие характеристики объекта исследования и произвести детализацию объекта на функции, выделив функции главные и вспомогательные в соответствии с его конструктивно-технологическими особенностями.

Под функцией понимается проявление и сохранение свойств какого-либо технического элемента в определенной системе взаимодействия объекта с внутренней и окружающей средой. Совокупность проявляющихся через функции свойств составляет качество проекта.

Формулировка функции должна быть достаточно точной и иметь законченный логический смысл. Понятие "функция" для объектов образовательных учреждений и их элементов предполагает конкретные технические или технологические характеристики, например, такие как «прочность», «устойчивость», «огнестойкость» и т.п.

На основании выделенных технических характеристик для объекта рассчитываются количественные показатели входящих в него компонентов.

Анкетирование экспертов позволяет уточнить оптимальные величины технических характеристик объекта.

Применительно к внедрению организационно-технических мероприятий по обеспечению необходимого уровня безопасности среды обитания образовательных учреждений возрастает ответственность экспертов по разработке реальных (не заниженных и не повышенных) требований от лица «потребителей» к объемно-планировочным и конструктивным параметрам зданий, характеристикам инженерных систем, оборудования, средств пожаротушения, дымоудаления, экстренной эвакуации и другим многочисленным элементам комплексной системы безопасности. Требования формулируются, как правило, компетентными специалистами научно-исследовательских, проектных и экспертных организаций, исходя из конкретных функций и свойств объекта образования с учетом особенностей его эксплуатации и присутствия в нем детей определенного возрастного, качественного и количественного состава.

При оценке любого объекта образования с точки зрения обеспечения безопасности среды обитания для «потребителей» в первую очередь сравниваются основные признаки, определяющие возможность эффективного использования каждой из сравниваемых систем безопасности в случаях возникновения чрезвычайных и кризисных ситуаций. Таких признаков достаточно много, и те системы безопасности, которые соответствуют по этим признакам требованиям «потребителя», сопоставляются между собой с целью выявить их свойства, являющиеся оптимальными. Для этого каждая из рассматриваемых систем безопасности должна быть охарактеризована с помощью интегрального показателя, не имеющего размерности и учитывающего весь комплекс необходимых «потребителю» характеристик: технических, технологических и стоимостных. Таким показателем может быть обобщенная функция желательности Харрингтона.

Полученные значения обобщенной функции желательности сравниваются с табличными показателями, и различные системы безопасности ранжируются в зависимости от того, в какой интервал попадает их обобщенная функция желательности. Система, имеющая наибольшее значение обобщенной функции желательности, является оптимальной. Виды однотипных систем безопасности, попадающие в одну область желательности, являются взаимозаменяемыми.

С помощью экспертов на основании составленного ранее необходимого для дальнейшего анализа перечня, который включает все главные и значительную часть вспомогательных функций, рассматриваются основные характеристики внедряемого проекта. Каждое количественное значение необходимо обозначить соответствующей переменной  $Y_i$ .

Количественные показатели основных характеристик системы безопасности в натуральных единицах измерения сводятся в таблицу.

Для определения обобщенной функции желательности Харрингтона применяется следующий алгоритм по преобразованию натуральных частных показателей в безразмерную шкалу желательности:

1. С помощью экспертов путем ранжирования определяется значимость характеристик системы безопасности. Первое место и соответственно ранг 1 присваивается самому важному из свойств, последнее место (и соответственно ранг  $n$ ) – наименее важному. Остальные свойства получают ранги от 2 до  $(n-1)$ . Если из двух свойств трудно выделить кандидата на  $i$ -ое место, то обоим свойствам присваивается ранг  $[i+(i+1)]/2=i+0,5$ .

2. Результаты ранжирования характеристик каждой системы безопасности обрабатываются и представляются в виде матрицы рангов. Согласованность мнений экспертов и неслучайный характер согласия оцениваются соответственно коэффициентом конкордации  $S$  и статистическим критерием  $\chi^2$  – Пирсона. Если расчетный коэффициент конкордации близок к 1, то это свидетельствует о достаточно большом единстве мнений специалистов. А для подтверждения гипотезы о неслучайном согласовании мнений экспертов рассчитанное на основании матрицы рангов значение  $\chi^2$  должно быть больше табличного критерия  $\chi^2$  – Пирсона, приведенного в справочниках по математической статистике. Если же коэффициент конкордации  $S$  и статистический критерий  $\chi^2$  – Пирсона имеют неприемлемые значения, эксперты оценивают характеристики систем безопасности повторно.

На следующем этапе для каждой разновидности рассматриваемых систем безопасности ( $k = 1, 2, 3$ ) находятся коэффициенты конкордации  $S_k$  и значения критериев  $\chi^2$  – Пирсона, которые вычисляются по следующей схеме:

а) суммируется число рангов  $a_{ij}$  для каждого свойства по группе экспертов  $\left( \sum_{j=1}^n a_{ij} \right)$ ;

б) определяется средняя сумма рангов для каждого свойства:

$$\bar{\sum} a_{ij} = 0,5g \times (n + 1), \quad (1)$$

где  $g$  – число экспертов;  $n$  – число свойств;

в) определяется отклонение  $\Delta_i$  суммы рангов каждого свойства от средней суммы рангов:

$$\Delta_i = \left| \sum a_{ij} - \bar{\sum} a_{ij} \right|; \quad (2)$$

г) определяется сумма квадратов отклонений по всем свойствам:

$$S = \sum_i \Delta_i^2; \tag{3}$$

д) подсчитывается число повторяющихся рангов, присвоенных каждым экспертом (если повторение имеет место);

е) при наличии повторяющихся рангов вычисляется показатель взаимосвязанности  $T_j$ :

$$T_j = 1/12 \sum (t_j^3 - t), \tag{4}$$

где  $t_j$  – число повторений каждого ранга у каждого эксперта;

ж) коэффициенты конкордации  $C_k$  определяются по формуле:

$$C_k = \frac{S_k}{1/12 \times g^2 (n^3 - n) - g \sum_{j=1}^g T_j}. \tag{5}$$

з) значения критериев  $\chi^2$  – Пирсона вычисляются по формуле:

$$\chi^2 = \frac{S_k}{1/12 \times g \times n(n+1) - 1/(n-1) \sum_{j=1}^n T_j}. \tag{6}$$

3. Определяются конкретные количественные показатели значимости свойств по каждому виду рассматриваемых систем безопасности. Для этого характеристики каждой системы располагаются в последовательности от 1 до  $n$  в соответствии с направлением увеличения суммы рангов, присвоенных экспертами. Показатель значимости каждого свойства соответствует месту, занимаемому им в полученном ранжированном ряду, и вычисляется по формуле:

$$\beta_1 = \frac{i}{2^{i-1}}, \tag{7}$$

где  $i$  – место, присвоенное экспертом данному свойству.

4. Для каждого вида изделий с помощью экспертов устанавливаются величины показателей свойств, отвечающие категориям «очень хорошо», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо».

5. С помощью стандартной функции желательности, график которой приведен на рисунке 1, определяются частные желательности в виде безразмерных показателей свойств для соответствующих видов продукции. Шкала желательности имеет интервал от 0 до 1 ( $d=0$  соответствует неприемлемому уровню данного свойства,  $d=1$  – самое лучшее значение свойства).

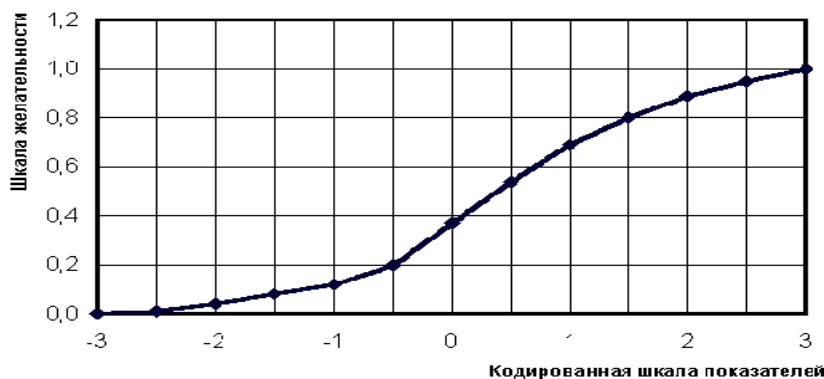


Рис. 1. График стандартной функции желательности Харрингтона

На оси ординат наносятся значения желательности (от 0 до 1), на оси абсцисс – кодированные значения показателей. За начало отсчета на этой оси принимается значение, соответствующее желательности 0,37.

6. Для каждого вида систем безопасности рассчитывается обобщенная функция желательности  $D_k$ , которая представляет собой среднее геометрическое из частных функций желательности с поправкой на значимость каждого свойства (характеристики):

$$D_k = \sqrt[n]{\prod_{u=1}^n d_u^{\beta_u}}, \tag{8}$$

где  $\prod_{u=1}^n$  – произведение частных функций желательности;  $n$  – число свойств;

$\beta_i$  – показатель значимости каждого свойства (характеристики) материала;

$i$  – место (номер) свойства в ранжированной последовательности свойств;

$k$  – разновидности систем ( $k=1, 2, 3$ ).

7. Найденные значения обобщенных функций желательности  $D_k$  для каждой разновидности рассматриваемых систем безопасности сравниваются со шкалой стандартных оценок (таблица 1) и между собой.

Таблица 1

*Стандартные отметки на шкале желательности*

| Желательность     | Отметки на шкале желательности |
|-------------------|--------------------------------|
| Очень хорошо      | 1,00...0,80                    |
| Хорошо            | 0,80...0,63                    |
| Удовлетворительно | 0,63...0,37                    |
| Плохо             | 0,37...0,20                    |
| Очень плохо       | 0,20...0,00                    |

На основании анализа полученных результатов делается вывод о пригодности рассматриваемых систем безопасности к использованию в соответствующих объектах образовательных учреждений.

На третьем этапе производится сравнение полученных результатов и выбор оптимального (наиболее эффективного) варианта системы безопасности какого-либо конструктивного или организационно-технологического решения.

Литература

1. Никулина, О.М. Методика рыночной оценки и отбора инновационных проектов по внедрению ресурсосберегающих технологий в строительном комплексе [Текст] / О.М. Никулина // Известия ОрелГТУ. Строительство. Транспорт. – Орел: ОрелГТУ, 2006. - № 1-2 (9-10). – С. 71 – 75.

УДК 711.451(470.311)

*Канд. арх., доц. Л.А. Волкова**(Орловский государственный технический университет)**Россия, г. Орел, тел. (4862) 43-92-41*

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ ГОРОДА**

Промышленная застройка оказывает существенное влияние на формирование как городской среды в целом, так и на отдельные ее элементы: архитектурные ансамбли, магистрали, площади, участки набережных и др. Игнорирование промышленных комплексов в формировании общей архитектурно-планировочной структуры города может оказать негативное влияние на решение проблем дальнейшего развития и качества архитектуры в целом.

Архитекторам, решающим очень трудные вопросы дальнейшего развития промышленных предприятий города, необходимо учитывать многочисленные аспекты этой проблемы, такие как градостроительные, архитектурно-художественные, социальные, экологические и др.

Промышленные предприятия в аспекте формирования городской среды несут две функции. С одной стороны градообразующую, когда производство изначально является основой города и предопределяет его планировочную структуру. С другой стороны промышленные предприятия играют градоформирующую роль, участвуя в формировании архитектурного облика города и отдельных его районов.

Вопросам формирования архитектуры промышленных предприятий посвящается достаточно большое количество трудов. Самое большое место среди этих работ отводится созданию композиции, средствам архитектурной выразительности и т. п.

Сегодня появилось новое научное направление – видеоэкология, оценивающее архитектурный облик не только с эстетических соображений, но и с точки зрения качества архитектурных решений, влияющих на органы зрения и общее состояние человека. Ученые-видеоэкологи выделяют опасные для здоровья участки видимой среды, так называемые гомогенные и “агрессивные” поля зданий и сооружений.

К первым относятся голые монотонные стены, протяженные стеклянные витражи, глухие заборы, плоские крыши зданий. При взгляде на такие поверхности глазу не за что “зацепиться”, и мозг в таком случае не получает достаточных импульсов, что ведет к ощущению дискомфорта.

Ко вторым – различные поверхности, насыщенные одинаковыми, равномерно расположенными элементами, от которых рябит в глазах. Это плоские фасады зданий с одинаковыми окнами, большие поверхности, облицованные прямоугольными плитками и т. п. Такие поля затрудняют фиксацию глаз, негативно воздействуют на человеческий организм, могут вызвать нервные и даже психические расстройства [1].

Подавляющее большинство промышленных зданий и сооружений не отвечает на сегодняшний день требованиям видеоэкологии, создавая противоестественную визуальную среду. Наступил момент, когда необходимо на всех стадиях проектирования учитывать требования видеоэкологии.

Существует целый ряд приемов, позволяющих учитывать эти требования при формировании архитектуры промышленных предприятий в городе.

Архитектурно-художественные решения с учетом требований видеоэкологии должны закладываться уже при решении генпланов предприятий. При проектировании генпланов целесообразно различать ряд пространственных уровней внешнего визуального восприятия предприятия из следующих зон: селитебной, санитарно-защитной, предзаводской, при объезде предприятий, а также выходов и въездов [2].

Каждому из уровней визуального восприятия соответствует индивидуальный набор характеристик и приемов решения архитектурных задач.

Основным архитектурно-планировочным приемом организации визуальных связей из зоны

селитебной застройки является ориентирование городских магистралей на наиболее выразительные объекты или группы объектов заводов, а также соответственное размещение их на генеральном плане завода с учетом наилучшего восприятия и требований видеоэкологии.

При проектировании следует учитывать панорамный и динамический характер восприятия из санитарно-защитной зоны. По мере приближения трудящихся к заводу происходит изменение видовой картины: зрительно “опускаются” и исчезают из поля зрения здания и сооружения, размещенные в глубине промышленной площадки, силуэтное восприятие сменяется восприятием объемной композиции, составленной объектами периферийной зоны застройки предприятия.

При архитектурной организации санитарно-защитной зоны между селитьбой и предприятием необходимо учитывать и по возможности сохранять существующий ландшафт, использовать сочетание зеленых, водных и открытых пространств, что также корреспондируется с требованиями видеоэкологии.

Озеленение промышленных предприятий и городских пространств является одним из самых важных факторов улучшения архитектурного качества застройки с точки зрения видеоэкологии.

Архитектурно-художественное решение комплекса предзаводской зоны должно выполняться с учетом наибольшей интенсивности приходящегося на нее визуального восприятия, так как через предзаводскую зону, как правило, проходит основная масса трудящихся.

На этом уровне выдвигаются повышенные требования к пластической разработке зданий с целью улучшения визуального восприятия. Существенными элементами формирования благоприятного восприятия становятся объекты системы визуальной информации и наглядной агитации, озеленение, малые архитектурные формы и т.п. Это наиболее важный этап архитектурного проектирования с точки зрения видеоэкологии.

При решении “городских фасадов” предприятия необходимо учитывать динамический характер восприятия. Для улучшения благоприятного видения и выразительности застройки целесообразно вводить акценты: при ходьбе – на уровне зрения пешеходов через 12-15 м, при движении со скоростью около 60 км/ч – более сильные акценты через каждые 150 м.

Следует учитывать, что восприятие метрического ряда становится монотонным через  $7 \pm 2$  повторов. В связи с этим необходимо изыскивать приемы смены ритма, чтобы не создавать часто повторяющихся элементов неприятных для восприятия [2].

Значительную роль в формировании архитектуры промышленных предприятий в городе играет цветовое решение.

На уровне цветовой композиции предприятия желательно учитывать следующие факторы: градостроительную ситуацию, природно-климатические условия, особенности объемно-планировочной композиции, условия визуального восприятия и др.

Если предприятие размещается в пределах визуальной доступности от селитебных районов, то желательно, чтобы преобладающая цветовая гамма выбиралась в увязке с композицией города. В случае удаленного размещения предприятия цветовое решение может решаться автономно.

На уровне цветового решения отдельного объекта могут использоваться приемы цветового декорирования, сплошной окраски, идентификации, дифференциации, тектонической окраски.

Прием цветового декорирования может применяться для ликвидации монотонности или для компенсации скудости пластической разработки фасадов. Прием объединения преобладающим цветом может применяться, когда по композиционным соображениям целесообразно связать некоторое множество зданий и сооружений, визуально упорядочить застройку, компенсировать при помощи цвета отдельные недостатки архитектурно-строительных решений. С точки зрения восприятия эти архитектурно-художественные приемы могут снять зрительное напряжение, дать положительные импульсы в мозг и, как следствие, улучшить условие жизнедеятельности.

#### Литература

1. Филин, В.А. Видеоэкология. Что для глаз хорошо, а что – плохо [Текст] / В.А. Филин. – М.: “Тасс-Реклама”, 1997. – 319 с.
2. Истомин, Б.С. Руководство по повышению архитектурно-художественного качества планировки и застройки предприятий черной металлургии [Текст] / Б.С. Истомин, Б.Л. Валкин. – М.: Стройиздат, 1980. – 174 с.

Канд. арх., проф. Т.Н. Колесникова

(Орловский государственный технический университет)

Россия, г. Орел, тел. (4862) 43-92-41; e-mail: Kolesnikovoj@yandex.ru

## СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В СТРУКТУРЕ ПОСЕЛЕНИЙ

Социально-экономические преобразования в агропромышленном производстве России вызвали изменения в архитектурно-пространственной структуре поселений и типологии аграрных предприятий. Появление семейных предприятий требует разработки новых принципов их градостроительного размещения в структуре поселений.

В России в настоящее время осуществляется трансформация существовавшей ранее сети сельскохозяйственных предприятий. Кроме государственных и коллективных хозяйств формируется сеть предприятий нового типа - индивидуальных, основанных на семейном труде. К индивидуальным относятся личные подсобные хозяйства граждан (ЛПХ) и фермерские хозяйства. Именно личные подсобные хозяйства граждан являются самым динамично развивающимся сектором экономики АПК. По данным статистики из 16 млн. сельских домохозяйств около 14 млн. (86,6%) ведут подсобное хозяйство и производят около 92% картофеля, более 80% овощей, около 52% мяса и молока, около 57% шерсти. Крестьянские (фермерские) хозяйства (261 тыс. единиц) производят более 18% зерна, 26% семян подсолнечника и 10% сахарной свеклы. Они существенно заполняют нишу, образовавшуюся с началом реформ из-за сокращения объемов производства сельскохозяйственной продукции в крупных и средних сельскохозяйственных организациях [1]. Поэтому одной из основных задач президентской программы «Развитие АПК» стала поддержка семейных производств.

В России только начинает накапливаться опыт строительства и эксплуатации индивидуальных семейных предприятий. Оказалось, что размещение их в существующей структуре населенных мест оказывает влияние на их планировку и застройку. Ведь семейные предприятия представляют собой новый структурный элемент расселения – производственно-жилой комплекс, где наблюдается интеграция функций жилья и производства, в то время как в предыдущий период градостроительное формирование поселений основывалось на разделении этих функций.

Малые тепличные предприятия, основанные на семейном труде, являются одним из видов производственно-жилых комплексов.

К малым предприятиям, согласно разработанной ранее классификации, относятся предприятия с площадью защищенного грунта до 2000 м<sup>2</sup>. В основу этого показателя заложено усредненное значение нормы площади защищенного грунта, приходящееся на одного работающего, в соответствии с технологическими нормативами, и составляющее около 1000 м<sup>2</sup>. Учитывая, что данные предприятия основываются на семейном труде, мощности их можно подразделить на следующие градации.

А. Личные подсобные хозяйства граждан, где растениеводство защищенного грунта является дополнительной статьей дохода семей, работоспособные члены которых могут одновременно иметь работу в других местах (площадь теплиц до 100 м<sup>2</sup>).

Б, В. Личные подсобные хозяйства граждан, где один из членов семьи может иметь другое место работы (площадь теплиц соответственно до 500 м<sup>2</sup> и до 1000 м<sup>2</sup>).

Г. Фермерские хозяйства, основанные на семейном труде, где растениеводство защищенного грунта является одним из основных источников дохода (площадь теплиц до 2000 м<sup>2</sup>).

Д. Фермерские хозяйства, где возможно сезонное использование наемного труда, и растениеводство защищенного грунта является основным источником дохода (площадь теплиц более 2000 м<sup>2</sup>).

Анализ приемов градостроительного размещения тепличных сооружений и предприятий от их возникновения до настоящего времени показывает, что доминирующее влияние на всех этапах их развития оказывала взаимосвязь следующих факторов: социально-экономических (вид собственности - частная или коллективная), функциональное назначение сооружений и их мощность.

Применительно к малым семейным тепличным предприятиям различной мощности можно отметить следующие тенденции в изменении принципов и приемов их градостроительного размещения. В градостроительном размещении современных отечественных и зарубежных тепличных предприятий типа А и Б развиваются принципы и приемы, характерные и для предыдущих периодов. Это - размещение тепличных сооружений и предприятий в селитебных зонах населенных мест, в основном пригородных, а также в зонах индивидуальной и блокированной застройки городов. При этом наблюдается тенденция увеличения роли этих сооружений в создании общей архитектурно-художественной композиции застройки по мере приближения теплиц к жилью, и, особенно, при их интеграции.

По мере укрупнения тепличных предприятий изменяются и приемы их градостроительного размещения. Предприятия типов В, Г и Д размещаются в основном на территориях смежных с существующими селитебными зонами населенных мест, а также на межселенных территориях вдоль транспортных магистралей.

В странах, где отрасль защищенного грунта наиболее развита, и отмечается тенденция к некоторому укрупнению предприятий, на межселенных территориях по периметру транспортных магистралей, образовались территориальные поселения из фермерских тепличных предприятий. Поселения имеют ярко выраженную динамическую линейную структуру, при которой жилые и производственные зоны смежных комплексов располагаются параллельно друг другу, образуя открытую для дальнейшего развития архитектурно-планировочную структуру (рис. 1).

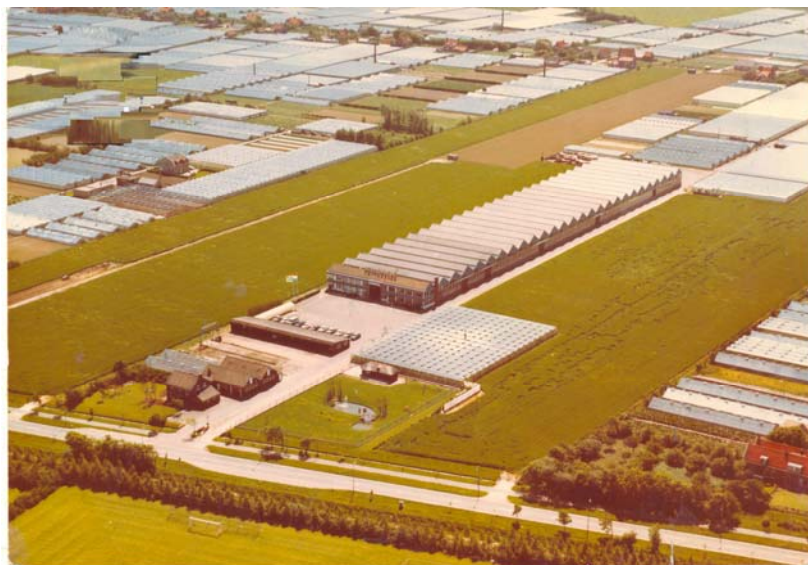


Рис.1. Градостроительное размещение тепличных предприятий в Голландии

Для товарных тепличных предприятий в основном характерна компактная архитектурно-планировочная структура, при которой все составляющие их части находятся на единой территории. Исключение составляют жилищно-хозяйственные комплексы рассадно-овощного назначения, где участок открытого грунта может находиться за пределами населенного пункта.

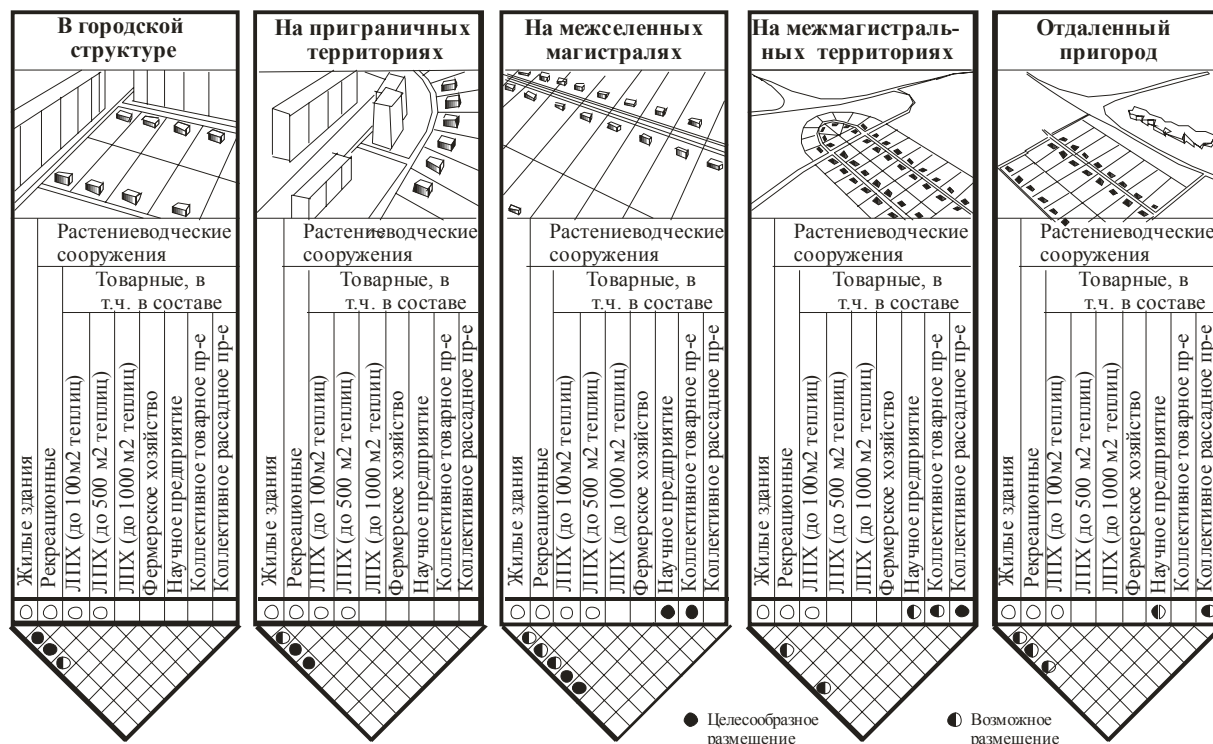
Учитывая, что спецификой градостроительного размещения тепличных сооружений и предприятий исторически является их концентрация в пригородных зонах городов, что объясняется как энергоемкостью и наукоемкостью данных сооружений, так и необходимостью приближения их к рынкам сбыта продукции, то определение принципов и приемов градостроительного размещения данных объектов необходимо уточнить в соответствии с данными научных исследований по типологии пригородных поселений и их расположению в структуре пригородной зоны (табл. 1).

На основании интеграции данных по территориальному размещению поселений в структуре пригородной зоны и классификации тепличных производственно-жилых комплексов в зависимости от их мощности и специализации можно сформулировать основные принципы их градостроительного размещения на городских территориях и на территориях пригородных зон городов [2].

Таблица 1



Градостроительное размещение растениеводческих предприятий в структуре пригородных зон



На городских территориях и на пограничных территориях городов, в селитебных зонах целесообразно размещать тепличные производственно-жилые комплексы типа А и Б. При этом в зонах усадебной застройки могут размещаться комплексы типа А и Б, а в зонах блокированной и секционной застройки - типа А.

1. На межселенных магистралях целесообразно размещать основную массу производственно-жилых комплексов типа В и Д, реже - А и Б.
2. На межмагистральных территориях и в отдаленном пригороде рекомендуется размещать производственно-жилые комплексы типа А, в основном рассадно-овощного назначения.

В расширении рамок рассматриваемой проблемы необходимо также отметить тенденцию к размещению тепличных сооружений в составе производственных зон городов, в основном расположенных смежно или непосредственно в структуре селитебных зон, комбинированно с предприятиями, выделяющими в процессе своего функционирования вторичные энергоресурсы (прачечные комбинаты, хлебозаводы, теплоэлектростанции и т. д.).

Тепличные сооружения, учитывая специфику их функционирования (необходимость досвечивания рассады), а также особенности ограждающих конструкций (светопрозрачность), будут играть активную роль в создании общей архитектурно-художественной композиции застройки, выполняя роль акцентов, активно воздействуя на ее силуэт.

Предложенные выше принципы градостроительного размещения малых тепличных предприятий в структуре населенных мест должны способствовать повышению их роли в формировании благоприятной социально-экономической и качественной архитектурно-пространственной среды для обитания людей и их трудовой деятельности.

Литература

1. Гордеев, А.В. Сельское хозяйство: итоги, проблемы, перспективы [Текст] / А.В. Гордеев. – М.: ИПК «Московская правда», Сельское строительство, 2006. - № 2. - С. 2 - 4.
2. Колесникова, Т.Н. Эволюция архитектуры тепличных сооружений и предприятий [Текст] / Т.Н. Колесникова. - М.: АСВ, 2005. – 199 с.

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ**

*Асп. Е.Н. Александров, академик РЭА, докт. техн. наук, проф. Ю.Д. Козлов  
(Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет)  
Россия, г. Волгоград, тел. (8442) 41-19-32*

## ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ

Последние годы XX века характеризовались активной разработкой мощных радиационно-химических установок. От создания макетных и опытных образцов перешли к созданию и внедрению опытно-промышленных и промышленных установок. Это было обусловлено значительным развитием работ в области радиационного аппаратостроения, получением надежных источников излучений достаточной мощности, разработкой научных и инженерных основ расчета аппаратов и установок, а также завершением испытаний ряда технологий, позволившим реализовать радиационно-химические процессы в промышленности. Вследствие этого к концу 90-х годов в России было сооружено около 90 опытных, опытно-промышленных и промышленных установок, в том числе более 60% из них – с ускорителями электронов [1, 2]. В этот период значительно расширилась материально-техническая база радиационно-химической технологии, гарантирующая радиационную безопасность обслуживающего персонала и потребителей продукции, доказана экономическая целесообразность создания таких установок и, особо важно отметить, – в ряде случаев только при помощи радиационной технологии можно получить материал или изделия с уникальными свойствами.

К таким процессам следует отнести получение стеклополимерных труб, а также труб из полиэтилена высокой и низкой плотности на различные давления [2].

В последние годы в стране наблюдается рост аварийных ситуаций в ЖКХ, вышедшие из строя трубы горячего и холодного водоснабжения влияют на жизнь населения и стабильность обстановки в регионах.

В настоящее время на создание металлических трубопроводов для систем горячего водоснабжения расходуется огромное количество металла, а срок службы таких труб ограничен. В металлических трубах интенсивно образуется накипь, внутренняя коррозия приводит к появлению свищей и течей. Решение проблемы – замена применяемых в настоящее время труб коррозионно-стойкими стеклополимерными, работающих при высоких температурах и давлении до 0,6-0,8 МПа.

Один из вариантов схемы радиационно-химической установки показан на рис. 1. В установке может быть использован ускоритель электронов, например, типа «Электрон» [2] с максимальной кинетической энергией 0,11 пДж и током пучка электронов до 10 мА. Развертка пучка электронов позволяет «сшивать» стеклоткань с полимером шириной до 1 м. Скорость подачи материала в камеру полимеризации связующего регулируется от 30 до 350 м/ч. Габариты установки могут быть 3x7x8 м<sup>3</sup>.

Технологическое оборудование состоит из устройства для подачи материала в пропиточную ванну (6-8), калибрующие валки (формирующее устройство)(9), устройство намотки материала на форматную обечайку (калибрующий барабан) выбранного диаметра трубы (4). Последнее перемещается с заданной скоростью вдоль оси, смещая тем самым основу трубы, производя любой (заданной) длины. Для обеспечения заданной толщины трубы устройство намотки автоматически регулируется по высоте к горизонтальной плоскости и обеспечивается постоянное расстояние от фольги выпускного окна ускорителя (3) до поверхности обрабатываемого материала (для уменьшения потерь энергии электронов). Установка может быть размещена в обычном производственном помещении, так как выполнена в индивидуальной защите (5). Системы управления установкой включают: пульта управления ускорителем, технологическим процессом и органы контроля системы измерения параметров пучка, блокировки по дозе, состоянию радиационной защиты и др. (датчики, приборы дозиметрического контроля и сигнализаций).

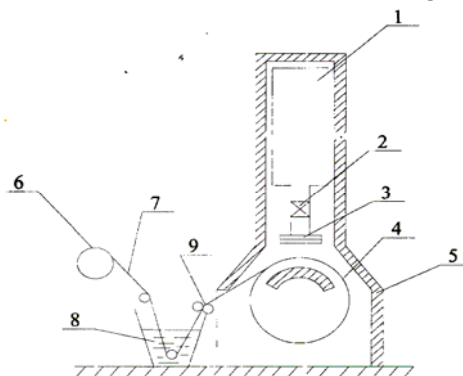


Рис. 1. Схема радиационно-химической установки: 1 - ускоритель электронов; 2 - вакуумная система; 3 - выпускное окно; 4 - калибрующий аппарат; 5 - радиационная защита; 6, 7 - стеклоткань; 8-пропарочная ванна; 9-калибрующие валки

Стеклоткань через направляющие валики поступает в пропиточную ванну со связующим. Пропитанный материал подается на калибрующие валки, где отжимается лишняя смола, затем - на барабан, с помощью которого он транспортируется, прижимается к каждому предыдущему намотанному слою и облучается потоком ускоренных электронов. От числа намотанных слоев зависит толщина трубы. Для будущего крепления трубопроводов между собой в некоторых участках производимых труб может быть выполнена ступенчатая намотка. Это дает возможность получить трубы с выраженными торцами (любой толщины), при помощи которых производится механическое соединение отдельных участков трубопроводов при прокладке их на территории. Основные свойства труб приведены в таблице.

Радиационное модифицирование повышает прочностные характеристики полиэтилена разных марок, причем тем в большей степени, чем выше показатель текучести расплава, то есть чем меньше молекулярная масса. Такое свойство полиэтилена особенно важно при использовании высокополимерных композиций для изготовления труб, поскольку в результате радиационного модифицирования можно получать изделия с высокими прочностными характеристиками.

Наиболее важное свойство труб, обусловленное сшитой структурой, их долговременная прочность при высоких температурах. Такие трубы могут эксплуатироваться в сетях горячего водоснабжения более 25 лет.

Таблица

*Свойства радиационно-модифицированных труб*

| Характеристика                          | Полиолефины |         | Поливинилденфторид | Поливинилхлорид |         | Фторо-эластомеры | Стекло-полимер |
|---|-------------|---------|--------------------|-----------------|---------|------------------|----------------|
|   | Гибкие      | Жесткие |                    | гибкие          | жесткие |                  |                |
| Прочность при разрыве, МПа              | 17,5        | 21      | 35-56              | 14-28           | 35      | 13,5-16,8        | 58-69          |
| Температура хрупкости, °С               | -85         | -9      | -55                | -20             | -20     | -55              | -65            |
| Температура длительной эксплуатации, °С | 125         | 125     | 150                | 105             | 105     | 200              | 250            |

Экономическая эффективность производства стеклопластиковых труб и замена ими стальных или чугунных очевидна. Например, себестоимость предлагаемых труб, диаметром ~108-500 мм с учетом капитальных затрат и годовых расходов снижается по сравнению со стальными на 100-400 руб./м. Причем, сравниваемые трубы рассчитаны на одинаковое давление, а долговечность стеклопластиковых труб в 2-4 раза больше.

#### Литература

1. Козлов, Ю.Д. Технология использования ускорителей заряженных частиц в промышленности, медицине и сельском хозяйстве [Текст] / Ю.Д. Козлов, А.В. Путилов. - М.: Энергоатомиздат, 1997.
2. Козлов, Ю.Д. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности [Текст]. - М.: Энергоатомиздат, 2006. - 712 с.

Докт. техн. наук, проф. В.Д. Барбанягрэ, асп. Ю.В. Хомченко  
(Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова)  
Россия, г. Белгород

## МЕХАНОАКТИВАЦИЯ ИЗВЕСТКОВО-КРЕМНЕЗЕМИСТОЙ СУСПЕНЗИИ ДЛЯ ПРЕССОВАННЫХ АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кварцевый песок как наиболее инертный компонент активизируется при мокром помоле, который используется, например, в производстве газосиликатных изделий [1-3], однако, высокая влажность (60-70%) известково-кремнеземистой суспензии вяжущего приводит к понижению прочности сырца и водоотделению при прессовании силикатной смеси. Таким образом, для повышения прочности прессованных автоклавных материалов в результате механоактивации песка путем мокрого помола необходимо существенное снижение влажности известково-кремнеземистой суспензии с сохранением текучих свойств.

При мокром помоле известково-кремнеземистой суспензии был установлен эффект снижения текучести суспензии с задержкой гидратации извести на срок до 20 минут, после чего суспензия разогревалась и загустевала. Указанное явление противоречит данным научно-технической литературы о том, что перемешивание и уменьшение фракции извести ускоряют гидратацию [4].

Исследования показали, что данное явление вызвано особыми условиями теплообмена в суспензии и образованием промежуточной фазы оксигидрата кальция ( $\text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) на поверхности зерен извести (рис. 1). Методом РФА быстро замороженных известковых суспензий установлены ранее неизвестные межплоскостные расстояния кристаллической решетки оксигидрата кальция, относительная интенсивность отражения которых увеличивалась с уменьшением В/И изучаемых суспензий. Величины межплоскостных расстояний оксигидрата кальция находятся в пределах  $d, \text{Å}$ : 4,02; 3,96-3,98; 3,44-3,47; 2,27; 3,75-3,80.

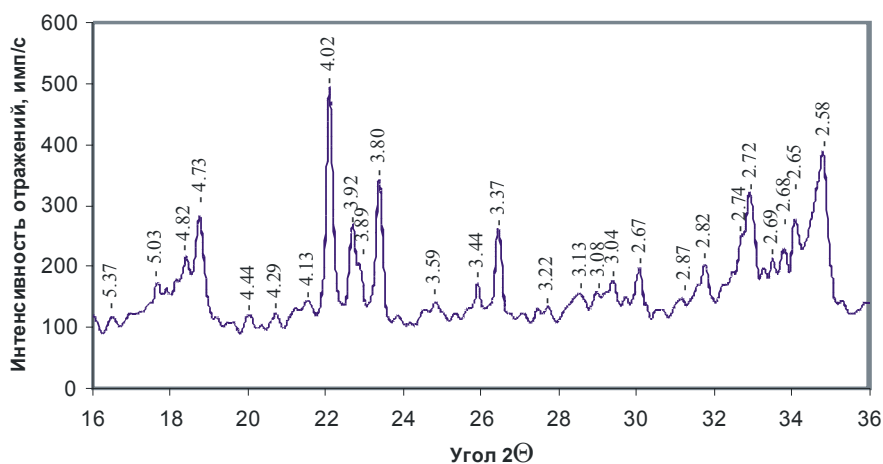


Рис. 1. Дифрактограмма быстроохлажденной суспензии извести

Для увеличения времени задержки гидратации извести и сохранения текучих свойств суспензии вяжущего было изучено влияние различных по составу минеральных и органических соединений ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaCl}$ , УЩР, сахар,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , СБ-3, ЛСТМ) на задержку гидратации извести, способствующее сохранению текучих свойств суспензии. Некоторое позитивное действие на сохранение текучести суспензии вяжущего оказали следующие соединения:  $\text{NaOH}$ , УЩР, сахар, СБ-3, ЛСТМ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Однако эффект сохранялся до 30-40 минут, после чего суспензия разогревалась и загустевала в результате гидратации извести в вяжущем.

В поиск подходящей разжижающей добавки были включены сульфатсодержащие соединения, такие как сульфат меди, цинка, железа, магния. Установлено, что наибольшее влияние оказывает добавка медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), которая задерживает гидратацию извести до 3-4 часов. Задержка гидратации извести при получении известково-кремнеземистого вяжущего позволила снизить количество вводимой в состав вяжущей суспензии воды с 55-60 до 46-50%, при этом время сохранения текучих свойств вяжущего (3-4 часа) позволяет осуществить все технологические процессы (хранение, дозирование и транспортировка вяжущего) до смешения с немолотым кварцевым песком для получения силикатной смеси. Поздняя гидратация извести при хранении силикатной смеси дополнительно снижает до необходимых пределов влажность смеси.

Установлено, что задержка гидратации извести при взаимодействии с медным купоросом происходит в результате образования нерастворимых соединений меди:  $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$  (d, Å: 6,44; 5,4; 3,9; 2,96; 2,71; 2,54; 2,29; 1,96; 1,74; 1,65),  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$  (d, Å: 5,99; 4,86; 4,54; 3,6; 3,0; 2,56; 2,50; 2,08),  $\text{CaCu}_4(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (d, Å: 10,2; 5,1; 3,74; 3,21; 3,19; 2,10),  $\text{Ca}_6\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (d, Å: 4,09; 3,96; 3,81; 3,40; 1,86; 1,75; 1,72), а также  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (d, Å: 7,61; 3,07; 2,87) на поверхности частиц оксида кальция. При замене медного купороса на сульфат магния, цинка или железа также образуется двуводный гипс, однако задержка гидратации извести не происходит или происходит на срок до 20-30 минут. Таким образом, задержка гидратации извести не может быть достигнута заменой медного купороса на аналоги, т. к. образование двуводного гипса не является ключевым фактором.

Известная добавка-пластификатор (СБ-3) при добавлении в вяжущее в количестве до 0,9% от массы активной извести дополнительно продлевает задержку гидратации извести, вызванную медным купоросом, в 1,5-2 раза в результате образования дополнительных фаз на поверхности зерен оксида кальция, которые задерживают гидратацию извести.

Использование мокрого помола известково-кремнеземистого вяжущего повышает удельную поверхность кварцевого песка в вяжущем в 1,4-1,8 раза (рис. 2) по сравнению с сухим помолом вяжущего, а также позволяет избежать налипания материала на стенки мельницы и мелющие тела при помоле, имеющее место в случае сухого способа получения вяжущего после достижения удельной поверхности кварцевого песка в вяжущем выше  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Мокрый помол вяжущего также позволяет более гибко регулировать процесс измельчения компонентов вяжущего, меняя время помола, загрузку мельницы материалом и мелющими телами. Был определен оптимальный состав известково-кремнеземистого вяжущего, полученного по мокрому способу, масс. %: молотый кварцевый песок – 10,59-30,51; известь негашеная – 22,00-36,99; водный раствор медного купороса (концентрации 1,80-8,09%) – 46,61-57,63; СБ-3 (сверх 100%) – 0,15-0,26 (при необходимости).

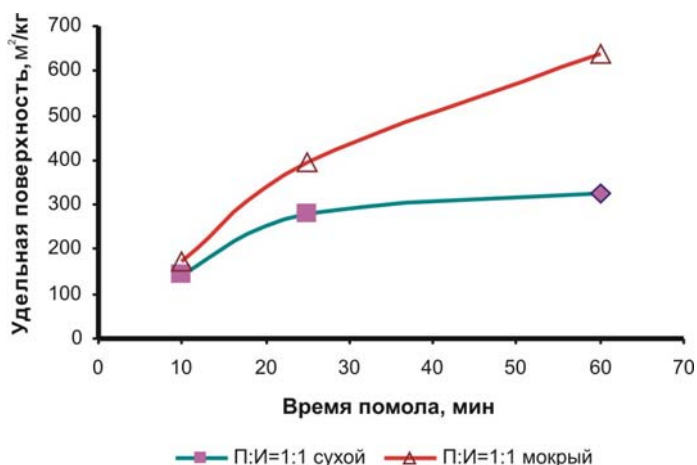


Рис. 2. Зависимость удельной поверхности кварцевого песка в вяжущем от режима помола

Оптимальный состав силикатной смеси на основе известково-кремнеземистого вяжущего находится в пределах, масс. %: кварцевый песок – 70,28-84,0, известково-кремнеземистое вяжущее – 16,00-29,72, в т.ч. медный купорос – 0,29-2,40 %. Медный купорос является недефицитным соединением, имеющим широкое применение в строительстве при отделочных работах и в народном хозяйстве.

При мокром помоле увеличивается растворимость и механохимическая активация кварцевого песка (рис. 3, а); при длительности помола кварцевого песка с водой (более 15 мин.) pH суспензии становится меньше pH водной суспензии трепела (штриховая линия на рис. 3, а).

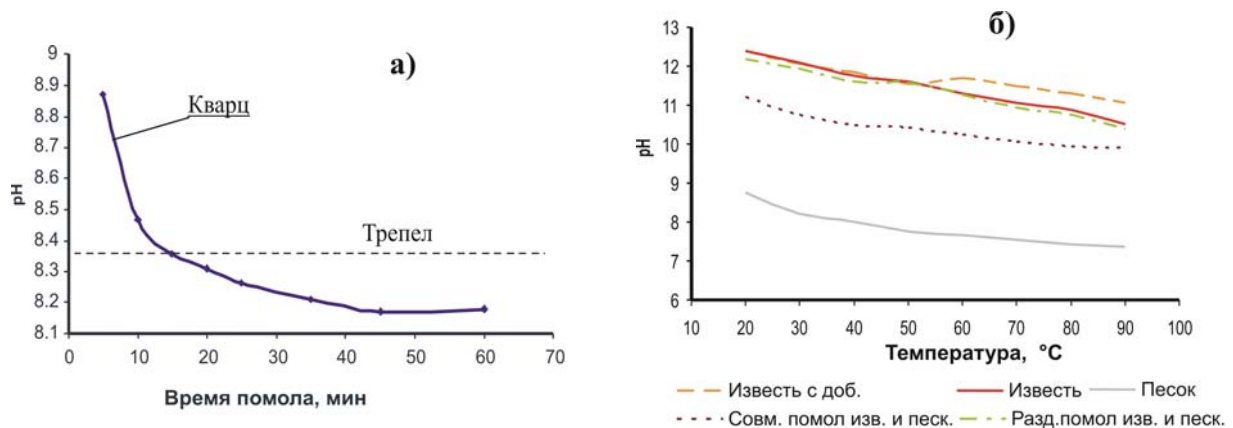


Рис. 3. Зависимость pH суспензий от: а - времени помола; б - температуры и состава

Методами титрования и pH-метрии установлено изменение состава известково-кремнезистой суспензии при совместном мокром помоле кварцевого песка и извести (рис. 3, б). Разница в содержании активного CaO в полученной путем совместного мокрого помола извести и кварцевого песка, и суспензии, полученной путем смешения раздельно размолотых в воде кварцевого песка и извести, составляет около 5% (на сухую массу). Разность pH данных суспензий достигает величины 2.

Прочность при сжатии получаемых прессованных автоклавных материалов растет пропорционально повышению удельной поверхности кварцевого песка в вяжущем (рис. 4, а).

На рис. 4, б приведена зависимость прочности при сжатии образцов на основе вяжущего, приготовленного по мокрому способу, от времени изотермической выдержки в автоклаве, из которой следует возможность сокращения в два раза времени изотермической выдержки при производстве прессованных автоклавных материалов, применяя мокрый помол вяжущего.

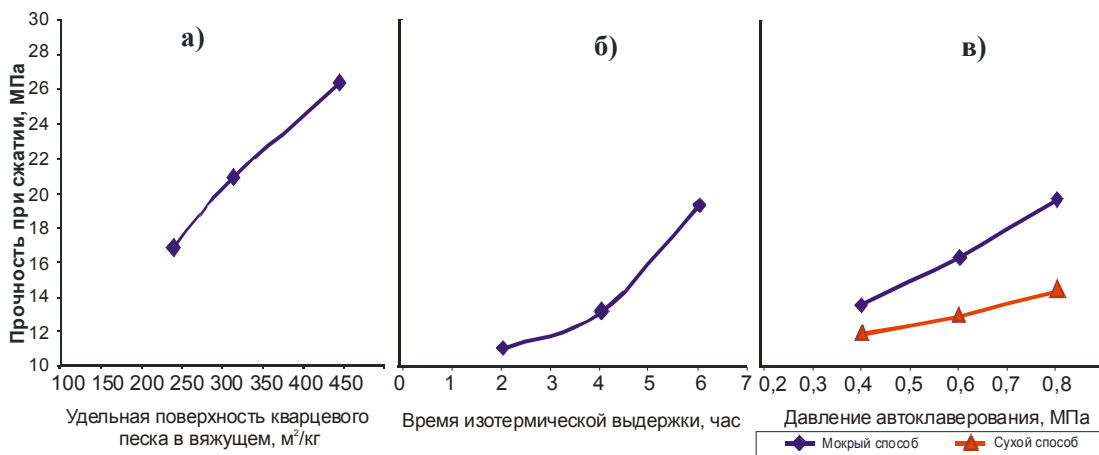


Рис. 4. Зависимость прочности при сжатии а - от удельной поверхности кварцевого песка в вяжущем; б - от времени изотермической выдержки; в - от давления автоклавирования

На рис. 4, в приведена зависимость прочности при сжатии образцов, приготовленных при сухом и мокром способе помола вяжущего, от давления автоклавирования, из которой следует, что уже при 0,5 МПа может быть достигнута прочность при сжатии равная прочности при сжатии образцов на основе сухого вяжущего.



Данными РФА и ДТА установлено, что прирост прочности образцов связан с лучшим усвоением компонентов вяжущего, приготовленного по мокрому способу, по сравнению с образцами, приготовленными по сухому способу, в процессе гидротермальной обработки.

Опытно-промышленные испытания на Белгородском комбинате строительных материалов ОАО «Стройматериалы» показали, что при практически равной прочности (25,5 МПа по сухому способу и 23 МПа по мокрому способу) активность силикатной массы опытных образцов на 37% ниже (6,2% для заводской силикатной смеси; 3,9% для смеси, приготовленной по мокрому способу) и, следовательно, можно экономить указанное количество извести без потери качества продукции. Использование мокрого помола компонентов вяжущего увеличивает прочность при сжатии изделий на каждый 1% активности готовой силикатной смеси с 36,6 кгс/см<sup>2</sup> (для сухого способа) до 59 кгс/см<sup>2</sup> (для мокрого способа). При одинаковой активности силикатной массы (6,2%) ожидаемая прочность опытных образцов кирпича составит 366 кгс/см<sup>2</sup>, т. е. марка кирпича может быть увеличена с М200 до М350.

#### **Выводы**

1. При гашении извести с избытком воды в виде суспензии наблюдается замедление процесса гидратации, обусловленное интенсивным рассеянием теплоты гидратации в водной среде и образованием на поверхности оксигидрата кальция предполагаемого состава  $\text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Определены основные рентгенометрические отражения  $\text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

2. Доказана возможность задержки гидратации извести в составе известково-песчаной суспензии до 6-8 часов при введении медного купороса и пластификатора СБ-3, что позволило обосновать и экспериментально подтвердить более высокую эффективность мокрого способа производства прессованных силикатных изделий.

3. Установлена возможность получения известково-песчаного вяжущего помолом в виде суспензии, обладающей минимальной влажностью (46-50%) и необходимой текучестью (55-60 мм) в течение 6-8 часов.

4. Установлены оптимальные составы известково-песчаного вяжущего и силикатных смесей на их основе в предлагаемом мокром способе производства.

5. Мокрый помол известково-песчаного вяжущего в производстве прессованных автоклавных изделий обеспечивает в сравнении принятым сухим помолом следующие преимущества:

- увеличение дисперсности в 1,5-2,0 раза и химической активности кварцевого песка в составе вяжущего;
- повышение прочности силикатного кирпича в 1,5-2 раза и увеличение марки с 200 до 350;
- снижение активности силикатной смеси с 6,2% до 3,9% без потери прочности изделий и с уменьшением расхода извести на 37%;
- снижение давления пара при автоклавировании изделий с 0,8 до 0,4 МПа и уменьшение расхода пара;
- уменьшение времени изотермического автоклавирования с 6 до 4 часов и увеличение производительности автоклава и выпуска продукции.

#### **Литература**

1. Кудеярова, Н.П. Вяжущие автоклавного твердения [Текст]: учеб. пособие / Н.П. Кудеярова. – 2-е изд., доп. и перераб. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 132 с.
2. Сулименко, Л.М. Механическая активация вяжущих композиций [Текст] / Л.М. Сулименко, Н.И. Шалуненко, Л.А. Уралов // Изв. Вузов. Сер. «Строительство». – Новосибирск, 1995. - №11.
3. Кржеминский, С.А. Автоклавная обработка силикатных изделий [Текст] / С.А. Кржеминский – М.: Стройиздат, 1974. – 160 с.
4. Бойнтон, Р. Химия и технология извести [Текст]. Сокр. пер. с англ. М.: Стройиздат, 1972. – 239 с.

Докт. техн. наук, проф. Ю.И. Гончаров, асп. С.В. Солопов  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862) 76-39-92; e-mail: solopov\_house@mail.ru  
Студ С.П. Король, студ. Д.А. Костенецкий, студ С.Б. Лопухов  
(Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова)  
Россия, г. Белгород

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИКИ РАЗЛИЧНОЙ ЦВЕТОВОЙ ГАММЫ

Проблеме объемного окрашивания керамического кирпича посвящено достаточно много публикаций [1-6], однако, до настоящего времени его ассортимент значительно уступает зарубежным аналогам.

Цветной кирпич в России выпускают лишь единичные заводы. Объясняется это тем, что у нас в стране отсутствуют лабильные технологические линии, позволяющие оперативно менять параметры сушки и обжига в зависимости от вводимых добавок. Не практикуется использование колпаковых печей периодического действия, позволяющих регулировать среду обжига и выпускать изделия небольшими партиями в зависимости от пожеланий заказчика.

Нами изучалась возможность получения керамического кирпича различной цветовой гаммы на примере составов, используемых Каширским и Нерехтским кирпичными заводами. При этом особое внимание уделялось влиянию температурного фактора и связанных с ним фазовых превращений на характер и интенсивность окраски. Эта проблема недостаточно освещена в известных публикациях.

Образцы готовились методом пластического формования размером 50x50x50 мм. Предварительно определялся комплекс технологических свойств. Обжиг проводился в интервале температур 900-1200<sup>0</sup>С. При определении минералогического состава использовался рентгенофазовый анализ.

ООО «Каширский кирпичный завод» выпускает кирпич марки 100-150 двух цветов: розовато-красного и светло-желтого. Изменение цвета связано с использованием в качестве дополнительного компонента к суглинку Ожерельевского месторождения каолиновой глины Латненского месторождения марки ЛТ-3.

Нами ставилась задача более детально изучить влияние различных соотношений суглинков - огнеупорная глина и температуры обжига на изменение цветовой гаммы изделий. Кроме того, для получения керамического кирпича коричневого цвета различных оттенков в состав шихты вводился марганцевый концентрат в виде минерала гаусманита - Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Химический состав исходных глинистых компонентов приводится в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав глинистого сырья

| Наименование                          | Содержание оксидов, % |                                |                  |                                |      |      |                   |                  |        |        |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|--------|--------|
|                                       | SiO <sub>2</sub>      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | п.п.п. | Сумма  |
| Суглинок Ожерельевского месторождения | 75,66                 | 10,85                          | 0,64             | 4,15                           | 1,23 | 0,85 | 0,57              | 2,12             | 3,93   | 100,00 |
| Глина ЛТ-3                            | 61,52                 | 24,29                          | 1,17             | 1,03                           | 1,20 | 0,17 | 0,10              | 0,23             | 10,29  | 100,00 |

Химический состав порошка гаусманита: Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> - 93-97 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - не более 6%, прочие соединения - не более 2 %. Размер зерен < 44 мкм - 96%, удельная площадь поверхности - 1,5-4 м<sup>2</sup>/г. Результаты рентгенофазового анализа подтверждают эти данные. Основная фаза представлена синтетическим гаусманитом (d/n, Å - 4,955; 3,089; 2,889; 2,767; 2,495; 2,365; 2,047; 2,002; 1,828; 1,796; 1,707; 1,691). MnO<sub>2</sub> в составе не обнаружен.

Глинистое сырье Ожерельевского месторождения имеет ледниковое происхождение и содержит до 10-12% глинистого компонента, занимая промежуточное положение между суглинками и супесями. По данным рентгенофазового анализа глинистый компонент представлен монтмориллонитом. Несмотря на высокое содержание железа по данным химического анализа, на дифрактограммах отсутствуют межплоскостные отражения, характерные для оксидов и гидроксидов железа. В связи с этим можно предположить, что железо входит в состав железистого монтмориллонита – нонтронита (d/n, Å - 14,979; 4,484; 2,574; 1,719).



Содержание кварца ( $d/n, \text{Å} - 4,28; 3,36; 2,465; 2,287; 2,243; 1,985; 1,822; 1,675$ ) достигает 70-75%. Исходя из высокого содержания щелочей (~2,5%), полевой шпат, скорее всего, представлен калинатровой разностью (ортоклаз-альбит), это подтверждают и данные расшифровки дифрактограмм ( $d/n, \text{Å} - 4,049; 3,261; 3,209; 2,894$ ). Из других минералов-примесей характерно присутствие карбоната кальция (до 4 - 6%).

Результаты экспериментальных исследований обобщены в таблице 2. Наблюдается четкая зависимость окраски образцов в зависимости от температуры обжига и состава исходной смеси. В случае использования чистого суглинка окраска изменяется от коричневого светлых оттенков при низких температурах до темно-коричневого и темно-бордового (цвет природного гематита) при температурах обжига 1150-1200<sup>0</sup>С. Добавка огнеупорной глины с высоким содержанием глинозема в количестве 10% существенно не влияет на окраску образцов, но увеличение ее содержания в исходном составе до 30-50% способствует значительному осветлению изделий от кремового (900<sup>0</sup>С) до желтого (1000<sup>0</sup>С), бежевого и темно-бежевого (1100-1150<sup>0</sup>С).

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов, полученных на основе суглинка Ожерельевского и глины Латненского месторождений

| Состав, масс. % |            | $R_{сжз}, \text{МПа}$ | $R_{изз}, \text{МПа}$ | $B, \%$ | $P_{отк.}, \%$ | $\rho, \text{г/см}^3$ | Усадка огневая, % | Цвет образцов         |
|-----------------|------------|-----------------------|-----------------------|---------|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| Суглинок        | Глина ЛТ-3 | T=900 <sup>0</sup> С  |                       |         |                |                       |                   |                       |
|                 |            | 100                   | 0                     | 11,60   | 5,18           | 17,14                 | 31,43             | 1,83                  |
| 90              | 10         | 13,60                 | 6,81                  | 15,92   | 29,83          | 1,87                  | -0,51             | розовый               |
| 70              | 30         | 18,50                 | 10,46                 | 12,87   | 28,30          | 1,96                  | 0,21              | светло-розовый        |
| 50              | 50         | 23,00                 | 12,08                 | 12,17   | 24,18          | 1,98                  | 0,22              | кремовый              |
|                 |            | T=1000 <sup>0</sup> С |                       |         |                |                       |                   |                       |
| 100             | 0          | 13,70                 | 5,69                  | 17,07   | 31,31          | 1,83                  | -1,20             | светло-коричневый     |
| 90              | 10         | 16,20                 | 7,73                  | 15,47   | 29,25          | 1,89                  | -0,97             | коричневато-оранжевый |
| 70              | 30         | 21,15                 | 10,63                 | 12,59   | 24,89          | 1,98                  | 0,18              | розовато-оранжевый    |
| 50              | 50         | 24,49                 | 12,20                 | 11,86   | 23,91          | 2,01                  | 0,20              | кремовый              |
|                 |            | T=1050 <sup>0</sup> С |                       |         |                |                       |                   |                       |
| 100             | 0          | 16,00                 | 6,77                  | 16,49   | 30,57          | 1,85                  | -0,83             | коричневый            |
| 90              | 10         | 20,00                 | 8,56                  | 14,83   | 28,32          | 1,91                  | -0,36             | светло-коричневый     |
| 70              | 30         | 24,30                 | 11,47                 | 11,24   | 22,88          | 1,99                  | 1,07              | коричневато-оранжевый |
| 50              | 50         | 26,20                 | 12,46                 | 11,08   | 22,71          | 2,04                  | 0,91              | кремовый              |
|                 |            | T=1100 <sup>0</sup> С |                       |         |                |                       |                   |                       |
| 100             | 0          | 23,70                 | 9,79                  | 13,16   | 25,75          | 1,96                  | 0,82              | коричневый            |
| 90              | 10         | 26,50                 | 10,19                 | 12,89   | 25,36          | 1,97                  | 0,68              | светло-коричневый     |
| 70              | 30         | 30,00                 | 17,85                 | 10,00   | 20,78          | 2,07                  | 0,79              | светло-коричневый     |
| 50              | 50         | 30,40                 | 17,96                 | 9,77    | 20,48          | 2,09                  | 0,24              | бежевый               |
|                 |            | T=1150 <sup>0</sup> С |                       |         |                |                       |                   |                       |
| 100             | 0          | 60,00                 | 31,88                 | 0,53    | 1,18           | 2,25                  | 4,81              | темно-бордовый        |
| 90              | 10         | 47,00                 | 26,74                 | 1,30    | 2,98           | 2,26                  | 4,42              | темно-бордовый        |
| 70              | 30         | 32,80                 | 22,27                 | 8,51    | 18,07          | 2,12                  | 2,57              | светло-коричневый     |
| 50              | 50         | 31,00                 | 18,38                 | 8,47    | 18,06          | 2,13                  | 1,33              | темно-бежевый         |
|                 |            | T=1200 <sup>0</sup> С |                       |         |                |                       |                   |                       |
| 100             | -          | 87-100                | 41,18                 | 0,76    | 1,21           | 2,28                  | 4,85              | темно-бордовый        |
| 90              | 10         | 76,00                 | 37,43                 | 0,78    | 1,22           | 2,26                  | 4,61              | темно-бордовый        |

Обращают на себя внимание высокие физико-механические свойства образцов, полученных при температурах 1150-1200<sup>0</sup>С на основе чистого суглинка и с добавкой 10% огнеупорной глины. Прочность на сжатие их колеблется от 60 до 100 МПа при водопоглощении 0,53-0,78% и морозостойкости более 200 циклов. Это клинкерный керамический кирпич, который по всем техническим параметрам значительно превосходит широко распространенную в настоящее время бетонную брусчатку и может с успехом использоваться для кладки фундаментов особо ответственных сооружений, в качестве высокопрочного декоративного облицовочного материала. Процессы фазовых превращений по данным рентгенофазового анализа на примере состава, содержащего 100% суглинка Ожерельевского месторождения, приведены на рисунке 1.

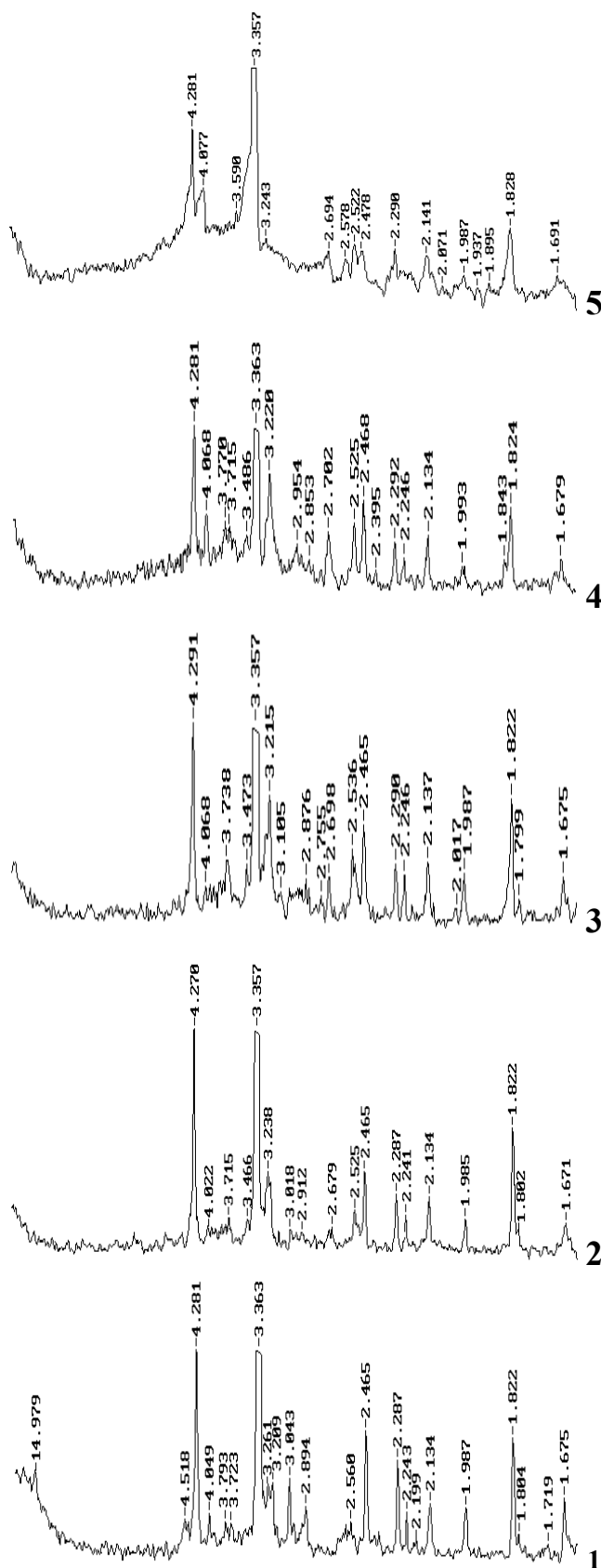


Рис. 1. Результаты рентгенофазового анализа суглинков Ожерельевского месторождения: 1 – исходная смесь; 2-5 – после обжига при температуре 900<sup>0</sup>С, 1050<sup>0</sup>С, 1150<sup>0</sup>С и 1200<sup>0</sup>С соответственно

Первые процессы фазообразования начинаются при 900<sup>0</sup>С и связаны практически с полным разложением карбоната кальция и частичным разложением нонтронита, которое сопровождается выделением гематита в виде самостоятельной фазы (d/n, Å-2,697) и аморфного кремнезема. Окончательное разложение нонтронита происходит при 1000-1050<sup>0</sup>С. При этих же температурах происходит интенсивное образование анортита за счет реакции между оксидом кальция, кремнеземом и глиноземом. При 1150<sup>0</sup>С появляется отражение, характерное для кристобалита (d/n, Å-4,068), и наблюдается начало образования диффузной области в интервале 18-32<sup>0</sup>, что может свидетельствовать о начале жидкофазного спекания и появлении стеклофазы. При 1200<sup>0</sup>С диффузная область в указанном интервале уже выражена более четко, и об интенсивности жидкофазного спекания могут свидетельствовать высокие физико-механические характеристики полученных образцов (см. табл. 2).

В случае использования исходного состава, включающего суглинок и латненскую глину, основная роль в последующих процессах фазообразования принадлежит каолиниту. Именно в результате его разложения при 1050<sup>0</sup>С появляются первые признаки образования муллита (небольшое отражение в области 3,46 Å), который при 1150<sup>0</sup>С является одной из основных фаз. Из других новообразований следует отметить появление кристобалита и гематита, небольшое содержание последнего обуславливает появление розовых и оранжевых тонов в окраске образцов.

Образцы с добавкой гаусманита обжигались только при температуре 1000<sup>0</sup>С (заводской режим обжига), т.к. соединения марганца являются сильными плавнями и при более высоких температурах возможно плавление образцов. Результаты экспериментальных исследований обобщены в табл. 3.

Количество оксида марганца варьировалось от 1 до 10%. Устойчивая коричневая окраска уже появлялась при добавке 1%, но образцы отличались сравнительно невысокой прочностью. При 5-10% цвет переходил в черный с серым оттенком. При добавке латненской глины образцы имели коричневый цвет с серым оттенком.

Таблица 3

Физико-механические свойства образцов, полученных на основе Ожерельевского суглинка и глины Латненского месторождения с добавкой оксида марганца

| Состав, масс. %       |            |                                    | R <sub>сж</sub> , МПа | R <sub>изг</sub> , МПа | B, %  | P <sub>отк.</sub> , % | ρ, г/см <sup>3</sup> | Усадка огневая, % |
|-----------------------|------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| Суглинок Ожер. мест-я | Глина ЛТ-3 | Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , % |                       |                        |       |                       |                      |                   |
| 100                   | -          | 1                                  | 15,5                  | 8,5                    | 13,2  | 25,9                  | 1,96                 | -0,35             |
| 100                   | -          | 2                                  | 23,8                  | 11,1                   | 11,1  | 23,4                  | 2,01                 | -0,21             |
| 100                   | -          | 3                                  | 28,93                 | 13,19                  | 10,62 | 23,93                 | 2,01                 | -0,38             |
| 100                   | -          | 5                                  | 43,75                 | 17,67                  | 9,55  | 20,28                 | 2,12                 | 1,25              |
| 100                   | -          | 10                                 | 54,04                 | 25,89                  | 5,72  | 13,28                 | 2,32                 | 3,67              |
| 50                    | 50         | 3                                  | 40,56                 | 17,05                  | 12,91 | 25,55                 | 1,98                 | 1,73              |
| 50                    | 50         | 5                                  | 32,05                 | 16,22                  | 13,02 | 25,96                 | 1,99                 | 1,33              |
| 50                    | 50         | 10                                 | 28,69                 | 14,85                  | 13,02 | 26,43                 | 2,05                 | 1,22              |

Особенности фазообразования в присутствии оксида марганца имеют следующий характер. Образовавшийся в результате разложения нонтронита гематит вступает во взаимодействие с гаусманитом с образованием (Mn, Fe)<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub> – железистого гаусманита, причем его содержание возрастает с увеличением содержания марганца в исходной смеси. Это хорошо прослеживается по увеличению значения отражения со значением 2,508 Å. Кроме того, отмечается небольшое количество минерала биксбиита - (Mn, Fe)MnO<sub>3</sub>. Оба новообразования имеют черную окраску, чем и объясняется своеобразный от коричневатого-серого до черного цвет образцов.

В случае использования в качестве исходного сырья смеси Ожерельевского суглинка и латненской глины интенсивное образование первичного муллита начинается уже при 1000<sup>0</sup>С в результате фазовых превращений каолинита. В этом случае муллит является метастабильной фазой, и при

повышении содержания гаусманита в исходном составе более 5% происходит его разложение с образованием соединения состава  $MnAl_{0,75}Si_{1,25}$ , что сопровождается появлением на дифрактограммах отражения со значением  $1,835 \text{ \AA}$ .

На ООО «Нерехтский завод керамических материалов» для получения керамического кирпича используется смесь трех глинистых компонентов: ледниковых суглинков Иголкинского и Арменского месторождений и кембрийской глины Чекаловского месторождения. Суглинки этих месторождений сходны по химическому и минералогическому составу с суглинком Ожерельевского месторождения. Из глинистых компонентов в них присутствует нонтронит, отмечается также высокое содержание кали-натровых полевых шпатов (6-8%). В арменском суглинке наблюдается небольшое количество карбонатных включений. Кембрийская глина имеет каолинит-гидролюдистый состав с небольшой примесью монтмориллонита. Химический состав исходных глинистых компонентов приведен в табл. 4.

Таблица 4

Химический состав исходного сырья

| Наименование                                 | Содержание оксидов, % |                                |                  |                                |      |      |                   |                  |        |        |
|--|-----------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|--------|--------|
|  | SiO <sub>2</sub>      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | п.п.п. | Сумма  |
| Суглинок Иголкинского месторождения          | 72,60                 | 10,60                          | 0,70             | 4,40                           | 0,80 | 0,80 | 1,20              | 1,20             | 5,64   | 100,00 |
| Суглинок Арменского месторождения            | 70,64                 | 15,63                          | -                | 1,71                           | 2,54 | 0,80 | 4,45              |                  | 3,43   | 100,00 |
| Кембрийская глина Чекаловского месторождения | 60,50                 | 24,30                          | 0,90             | 6,52                           | 0,51 | 2,43 | 6,31              | 0,17             | 7,60   | 100,00 |

В данном случае преследовалась несколько иная задача – на основе красножгущегося сырья получить керамический кирпич белого цвета. С этой целью в шихту заводского состава вводился мел Белгородского месторождения марки МТД-2. Технические характеристики мела: CaCO<sub>3</sub> не менее 97,2%, нерастворимых в HCl веществ - не более 1%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,15%, остаток на сите №014 не более 1%.

Предварительно исходные компоненты просушивались до влажности менее 1%, и проводился их совместный помол в шаровой мельнице.

Содержание мела в исходном составе колебалось от 10 до 30% по массе. Обжиг проводился при температурах 900, 1000 и 1100<sup>0</sup>С. Поставленная цель была достигнута при добавке мела в исходный состав в количестве 30%. При указанных температурах были получены образцы очень светлых тонов окраски. Причем тональность окраски изменялась в зависимости от температуры обжига. При 900<sup>0</sup>С – белый с розоватым оттенком, при 1000<sup>0</sup>С – белый с желтоватым оттенком, при 1100<sup>0</sup>С – белый с чуть зеленоватым оттенком. Результаты фазовых превращений при обжиге исходной шихты с добавкой карбоната кальция до 30% в интервале температур 900-1100<sup>0</sup>С отражены на рис. 2.

При 900<sup>0</sup>С появляются отражения, характерные для мелилита - Ca<sub>2</sub>(Al,Mg,Fe)[(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] (d/n, Å 3,72, 2,862, 2,401, 2,362, 2,045, 1,76), волластонита CaSiO<sub>3</sub> (d/n, Å 2,98, 3,08, 3,84, 2,20) и геденбергита - CaFe[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] (d/n, Å 2,988, 2,574, 2,526).

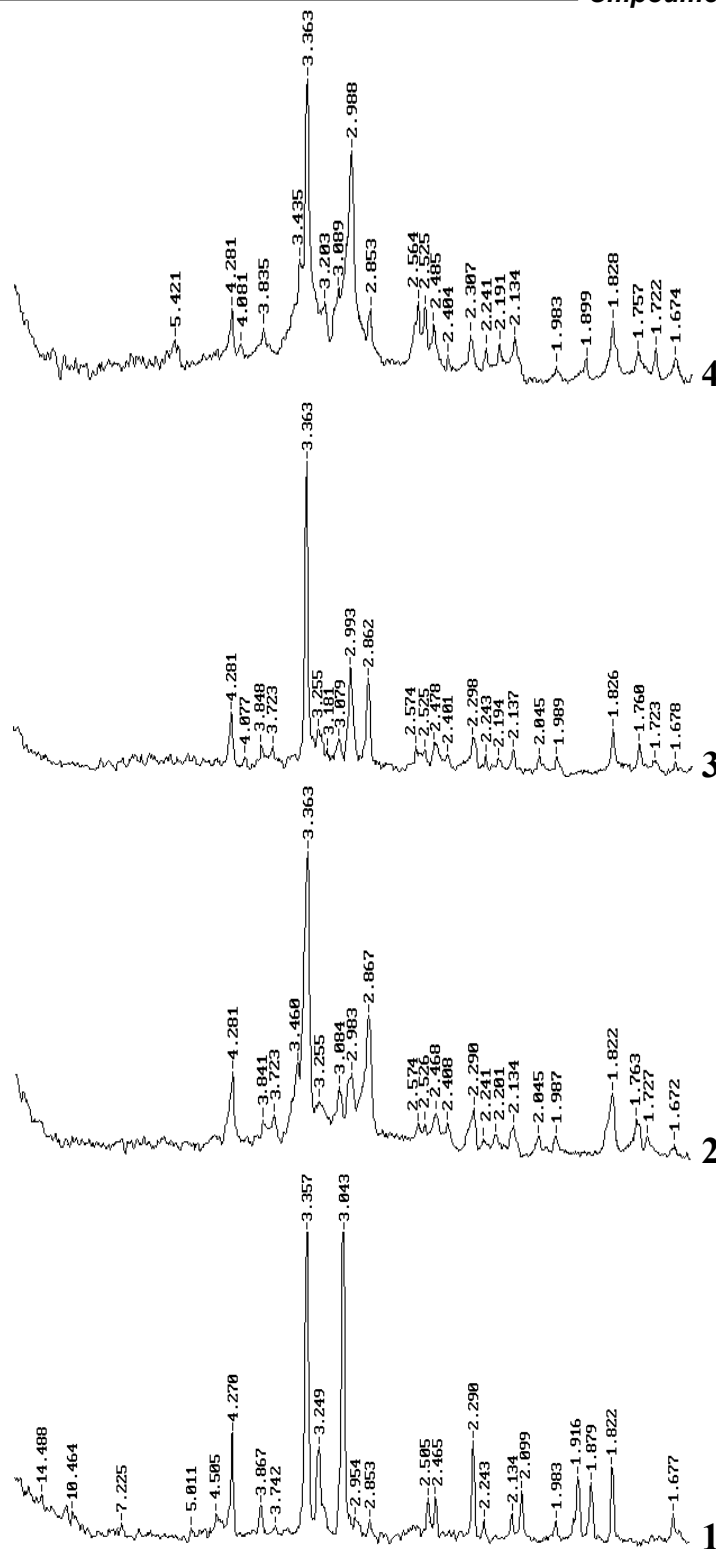


Рис. 2. Результаты рентгенофазового анализа исходной смеси с добавкой 30% мела: 1- исходная смесь; 2, 3, 4 – после обжига при температуре 900<sup>0</sup>С, 1000<sup>0</sup>С и 1100<sup>0</sup>С соответственно

При температуре 1000<sup>0</sup>С уменьшается содержание мелилита, и увеличивается содержание волластонита и геденбергита, появляется отражение, характерное для кристобалита ( $d/n, \text{Å} - 4,07$ ). При 1100<sup>0</sup>С преобладающей фазой является волластонит, появляются отражения, характерные для муллита ( $d/n, \text{Å} 5,42, 3,435$ ). Значительно увеличивается содержание геденбергита. По существу керамика приобретает волластонит-геденбергит-муллитовый состав и является новым видом кера-

мического материала, который с успехом может использоваться не только в качестве строительного, но и огнестойкого материала с рабочей температурой 1000-1200<sup>0</sup>С.

Основываясь на последовательности фазовых превращений можно обосновать изменение цветовой гаммы образцов. Белый с розоватым оттенком цвет при 900<sup>0</sup>С связан с преобладающей фазой железистого мелилита. Желтоватый оттенок при 1000<sup>0</sup>С - с увеличением содержания волластонита и уменьшением количества мелилита. А светло-зеленый оттенок при 1100<sup>0</sup>С связан с появлением значительного количества геденбергита, имеющего темно-зеленый цвет.

Результаты физико-механических испытаний образцов отражены в табл. 5.

Таблица 5

*Физико-механические свойства образцов, полученных на основе заводского состава и с добавкой 30% мела*

| №№ п/п | Состав                 | $T_{обж}, ^\circ C$ | $R_{сж},$<br>МПа | $R_{изг},$<br>МПа | $B,$<br>% | $P_{отк.}, \%$ | $\rho,$<br>г/см <sup>3</sup> | Усадка ог-<br>невая, % | Коэф-нт<br>размягче-<br>ния |
|--------|------------------------|---------------------|------------------|-------------------|-----------|----------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1      | Заводской              | 1000                | 25,8             | 15,9              | 11,8      | 23,9           | 2,02                         | 1,2                    | 0,73                        |
| 2      | С добавкой<br>30% мела | 900                 | 23,7             | 11,2              | 22,5      | 38,9           | 1,73                         | 0,4                    | 0,91                        |
| 3      | "                      | 1000                | 28,2             | 14,3              | 18,4      | 34,4           | 1,81                         | 0,6                    | 0,95                        |
| 4      | "                      | 1100                | 21,3             | 10,4              | 23,1      | 39,1           | 1,69                         | -0,3                   | 0,81                        |

Прочностные характеристики полученных образцов несколько превышают заводские, а их коэффициент размягчения оказывается существенно выше (0,95 против 0,73 у заводского), что может свидетельствовать об их более высокой морозостойкости.

#### Литература

1. Альперович, И.А. Керамические стеновые и теплоизоляционные материалы в современном строительстве [Текст] / И.А. Альперович // Строительные материалы, 1996. - № 12. - С. 22-24.
2. Альперович, И.А. Новое в технологии лицевого керамического кирпича объёмного окрашивания [Текст] / И.А. Альперович // Строительные материалы, 1993. - № 7. - С. 5 - 9.
3. Альперович, И.А. Лицевой керамический кирпич объёмного окрашивания в современной архитектуре [Текст] / И.А. Альперович, А.В. Смирнов // Строительные материалы, 1990. - № 12. - С. 4-6.
4. Альперович, И.А. Внедрение технологии производства лицевого керамического кирпича объёмного окрашивания [Текст] / И.А. Альперович, Г.И. Божьева, В.А. Крюков // Строительные материалы, 1993. - № 1. - С. 2 - 4.
5. Альперович, И.А. Эффективность производства лицевого кирпича объёмного окрашивания на основе легкоплавкой глины и тонкодисперсного мела [Текст] / И.А. Альперович, В.П. Варламов, Н.Г. Перадзе // Строительные материалы, 1991. - № 9. - С. 6-8.
6. Альперович, И.А. Лицевой кирпич светлых тонов на основе кембрийских глин [Текст] / И.А. Альперович, Г.Т. Осипов, В.С. Свитко // Строительные материалы, 1995. - № 11. - С. 6-8.

Асп. С.А. Мясникова, докт. техн. наук, проф. В.А. Шорин  
(Вологодский государственный технический университет)  
Россия, г. Вологда

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ В СОЧЕТАНИИ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ БИТУМАМИ И БИТУМПОЛИМЕРНЫМИ ВЯЖУЩИМИ

Определенный интерес в плане поиска новых технологий и нетрадиционных строительных материалов представляют материалы на основе техногенных вторичных ресурсов, в частности, металлургические шлаки и побочные продукты химической промышленности. Утилизация отходов также имеет важную и очень перспективную с точки зрения экономики задачу.

Накопленный опыт строительства дорожных покрытий с применением асфальтобетона на щебеночных материалах из металлургических шлаков доказал их высокую эксплуатационную надежность и долговечность [1]. Несомненно, актуальным в этом плане является разработка и исследование материалов на основе металлургических шлаков в сочетании с модифицированными битумами и битумополимерными вяжущими для их использования в технологии поверхностной обработки автомобильных дорог.

На первом этапе исследований важным и актуальным представлялся ответ на вопрос, соответствуют ли металлургические шлаки требованиям, которые предъявляются к каменным материалам для поверхностной обработки. В этой связи нами было проведено комплексное исследование доменного и сталеплавильного шлака по физико-механическим параметрам, которые изложены в требованиях ВСН 38-90 [2]. Результаты проведенных исследований сведены в таблице 1.

Таблица 1

### Результаты исследования физико-механических показателей

| Наименование показателей                          | Требования<br>ВСН 38-90 | Показатели свойств     |                 |
|---|-------------------------|------------------------|-----------------|
|   |                         | сталеплавильного шлака | доменного шлака |
| Марка по прочности                                | 1200                    | 1150-1200              | 900-1200        |
| Марка по истираемости                             | И-I                     | И-II                   | И-II            |
| Содержание пылевато-глинистых частиц, %           | не более 1,0%           | 0,4-0,7                | 0,2-0,7         |
| Содержание металлических примесей, %              | не более 5,0%           | 0,0                    | 0,5-2,1         |
| Содержание зерен слабых пород, %                  | не более 10%            | 3,6-6,8                | 2,1-4,8         |
| Содержание зерен пластинчатой и лещадной формы, % | не более 15%            | 7,8-10,5               | 9,6-11,2        |
| Содержание органических примесей                  | не допускается          | 0,0                    | 0,0             |
| Содержание глины в комках, %                      | не допускается          | 0,0                    | 0,0             |
| Марка по морозостойкости, циклов                  | Мрз 50                  | Мрз 50                 | Мрз 50          |

Отчетливо видно, что доменные и сталеплавильные шлаки полностью удовлетворяют требованиям ВСН 38-90 и могут быть использованы в качестве каменных материалов для поверхностной обработки автомобильных дорог.

Для подтверждения возможности применения металлургических шлаков для поверхностной обработки было проведено строительство опытно-экспериментальных участков автодорог Вологда-Норобово (сталеплавильный шлак) и Сергиев Посад-Череповец (доменный шлак). С целью оценки качества поверхностной обработки были определены параметры макрошероховатости и коэффициент сцепления на разных участках покрытия (табл. 2). Результаты опытно-производственных работ подтвердили возможность применения металлургического шлака для устройства поверхностной обработки и показали, что характеристики качества поверхностной обработки соответствуют требованиям ВСН 38-90.

Таблица 2

| Наименование показателей                          |          | Параметры макрошероховатости |                         |
|---|----------|------------------------------|-------------------------|
|   |          | Вологда-Норобово             | Сергиев Посад-Череповец |
| Средняя глубина впадин                            | $H_{cp}$ | 0,32                         | 0,46                    |
| Средняя приведенная высота выступов шероховатости | $R_{cp}$ | 0,20                         | 0,40                    |
| Средняя высота выступов шероховатости             | $R_z$    | 0,52                         | 0,86                    |
| Коэффициент вариации глубины неровностей          | $C_H$    | 0,18                         | 0,33                    |
| Коэффициент шага                                  | $K_{ш}$  | 0,62                         | 0,53                    |
| Коэффициент распределения щебня                   | $C_m$    | 0,093 (отличное)             | 0,084 (отличное)        |
| Коэффициент сцепления                             |          | 0,59                         | 0,60                    |

Для широкого использования металлургических шлаков в дорожном строительстве, особенно при устройстве поверхностной обработки, важное место приобретает вопрос о силе адгезионно-го взаимодействия в системе «шлаковый щебень - битумное вяжущее».

В своем составе металлургические шлаки содержат до 95% оксидов кальция (CaO), кремния (SiO<sub>2</sub>) и алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Большая часть металлургических шлаков имеет модуль основности в интервале 0,7-1,6. Такой модуль основности характеризует металлургические шлаки как активные минеральные материалы. Благодаря повышенной основности металлургические шлаки активно взаимодействуют с битумом. Для улучшения сцепления битума с металлургическими шлаками в технологии поверхностной обработки целесообразно применять модифицированные битумы.

Несомненный интерес представляет использование в технологии поверхностной обработки мастичных битумполимерных составов, к которым предъявляются повышенные требования по показателям сцепления к поверхности каменных материалов. Кроме того, использование битумполимерных вяжущих придает высокую эластичность в широком диапазоне температур, исключая хрупкое разрушение при отрицательных температурах в зимнее время и необратимые деформации сдвига летом.

Целью настоящей работы является разработка и исследование материалов на основе металлургических шлаков в сочетании с модифицированными битумами и битумополимерными вяжущими для поверхностной обработки покрытия автомобильной дороги.

Исследование влияния различных факторов на адгезионные характеристики в системе «битум - каменные материалы» проводилось по двум направлениям. Во-первых, рассмотрено влияние на адгезионные свойства битума наиболее доступных и известных адгезионных добавок, которые выпускаются предприятиями - это добавка «Азол-1001» (г. Котлас), которая представляет смесь солей алкиламидаминов, алкилимидазолинов и жирных кислот, и "Дорос - АП" (г. Ярославль), которая представляет композицию амидаминов. Во-вторых, был проведен поиск новых адгезионных материалов среди техногенных вторичных продуктов. В качестве перспективных нами рассмотрены терпеновое масло и кубовые остатки. Кубовые остатки являются вторичными продуктами при производстве аммиака и представляют смесь воды и моноэтаноламина в отношении 5:1. Терпеновое масло является отходом производства при лесохимической переработке древесины хвойных пород. Экспериментальные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований

| Вид каменного материала | Концентрация добавки, % | Показатели адгезии по площади покрытия битумом, % |           |
|-------------------------|-------------------------|---|-----------|
|                         |                         | Дорос-АП  | Азол-1001 |
| Гранитный щебень        | 0                       | 55-65   |           |
|                         | 0,5                     | 85-95   | 85-95     |
|                         | 1,0                     | 85-95   | 85-95     |
|                         | 1,5                     | 90-95   | 85-95     |
| Сталеплавильный шлак    | 0                       | 50-60   |           |
|                         | 0,5                     | 70-80   | 75-85     |
|                         | 1,0                     | 70-80   | 75-85     |
|                         | 1,5                     | 70-80   | 75-85     |
| Доменный шлак           | 0                       | 55-65   |           |
|                         | 0,5                     | 55-65   | 85-95     |
|                         | 1,0                     | 55-65   | 85-95     |
|                         | 1,5                     | 65-75   | 85-95     |



Отчетливо видно, что добавка «Дорос - АП» значительно улучшает адгезию битума к стале-плавному шлаковому щебню. При переходе от обычного битума к битуму с добавкой «Дорос-АП» наблюдается увеличение площади покрытия битума в 1,4 раза. Существенное влияние добавка «Дорос-АП» оказывает на адгезию битума к поверхности гранитного щебня. В то же время практически отсутствует активационное действие «Дорос - АП» на сцепление битума с доменным шлаком. Добавка «Азол-1001» увеличивает адгезионные свойства битума по отношению к гранитному, доменному и сталеплавному шлакам.

В плане поставленных задач была разработана и исследована комплексная модифицирующая добавка КМД, полученная нами путем растворения полиэтилена высокого давления в терпеновом масле [3]. Являясь продуктом взаимодействия полиэтилена и терпенового масла, данная добавка при введении ее в битум реализует свои комплексные свойства. Полиэтиленовая составляющая повышает теплостойкость, а терпеновое масло – водостойкость битума. Для идентификации разработанной нами комплексной модифицирующей добавки КМД как самостоятельной добавки, были проведены исследования с помощью метода инфракрасной спектроскопии (ИКС).

Для повышения качества поверхностной обработки с использованием металлургических шлаков нами были разработаны и исследованы мастичные битумполимерные вяжущие с улучшенными характеристиками температуры хрупкости и интервала пластичности. Кроме того, необходимо было добиться улучшения сцепных качеств к поверхности каменного материала, которые присущи мастикам. Такое мастичное битумполимерное вяжущее было разработано нами на основе дивинилстирольного термопласта (ДСТ), который сочетает в себе свойства эластомеров и термопластов. Первоначально были разработаны базовые составы, результаты исследования представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты исследования мастичных битумполимерных вяжущих

| Состав  | Пенетрация |     | Растяжимость, см |      | t° размягч. °С | t° хрупк. °С | Прочность сцепления, R <sub>сц</sub> , МПа |         |       |
|---|------------|-----|------------------|------|----------------|--------------|--|---------|-------|
|   | 25°С       | 0°С | 25°С             | 0°С  |                |              | Бетон                                      | А/бетон | Сталь |
| Битум 60/90   | 85         | 22  | 94               | 22   | 47             | -18          | 0,5  | 0,7     | 1,3   |
| Битум - 80%<br>Инд. Масло - 8%<br>ДСТ – 8%<br>Мин. Порошок – 4% | 70         | 49  | 47,7             | 48   | 87             | -39          | 0,9  | 0,5     | 0,6   |
| Битум - 82%<br>Инд. масло - 6%<br>ДСТ – 8%<br>Мин. порошок – 4% | 63         | 48  | 45,3             | 44,1 | 85             | -37          | 0,7  | 0,4     | 0,7   |
| Битум - 82%<br>Инд. масло - 8%<br>ДСТ – 6%<br>Мин. порошок – 4% | 76         | 40  | 46,5             | 41,0 | 83             | -34          | 0,5  | 0,5     | 0,6   |
| Битум – 84%<br>Инд. масло - 6%<br>ДСТ – 6%<br>Мин. порошок - 4% | 66         | 38  | 43               | 36   | 82             | -26          | 0,7  | 0,7     | 0,8   |

На основании проведенных исследований нами в качестве оптимального было выбрано мастичное битумполимерное вяжущее, названное нами МБПВ следующего состава:

- битум БНД 60/90 – 80%;
- ДСТ (дивинилстирольный термоэластопласт) – 8%;
- индустриальное масло И-50А – 8%;
- минеральный известняковый порошок – 4%.

ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МБПВ НАМИ БЫЛИ ИССЛЕДОВАНЫ СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО АДГЕЗИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ «ДОРОС-АП» И ТЕРПЕНОВОГО МАСЛА НА АДГЕЗИЮ МБПВ К ПОВЕРХНОСТИ КАМЕННОГО МАТЕРИАЛА ПРЕДСТАВЛЕНЫ В ТАБЛИЦЕ 5.

Результаты исследования влияния добавки «Дорос-АП»  
и терпенового масла на адгезию МБПВ к поверхности каменного материала

| Вид каменного материала | Концентрация добавки, % | Площадь покрытия битумом, по показателю адгезии, % |                    |
|-------------------------|-------------------------|--|--------------------|
|                         |                         | «Дорос - АП»                                       | «Терпеновое масло» |
| Гранитный щебень        | 0                       | 35-45  |                    |
|                         | 0,5                     | 60-70  | 55-65              |
|                         | 1,0                     | 75-85  | 70-80              |
|                         | 1,5                     | 85-95  | 25-35              |
| Сталеплавильный шлак    | 0                       | 50-60  |                    |
|                         | 0,5                     | 55-65  | 70-80              |
|                         | 1,0                     | 70-80  | 90-100             |
|                         | 1,5                     | 85-95  | 70-80              |
| Доменный шлак           | 0                       | 50-60  |                    |
|                         | 0,5                     | 55-65  | 60-70              |
|                         | 1,0                     | 65-75  | 65-75              |
|                         | 1,5                     | 85-95  | 45-55              |

Видно, что в случае сталеплавильного и доменного шлака добавка из местных вторичных продуктов терпеновое масло является конкурентоспособной с известной добавкой «Дорос-АП». Учитывая значительную дешевизну терпенового масла по сравнению с «Дорос-АП», можно ожидать определенных практических перспектив у этого материала.

Таким образом, разработаны и исследованы эффективные композиционные материалы для поверхностной обработки автомобильной дороги с использованием доменного и сталеплавильного шлаков в сочетании с модифицированными битумами и битумполимерными вяжущими.

#### Литература

1. Шорин, В.А. Эффективные шлаки [Текст] / В.А. Шорин, Ю.Б. Рогов, С.Ю. Серков // Автомобильные дороги, 2000. - № 1. - С. 36.
2. ВСН 38-90. Технические указания по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью [Текст] - М.: Транспорт, 1991. – 56 с.
3. Шорин, В.А. Оценка формирования структуры комплексной модифицирующей добавкой «КМД» с помощью ик-спектроскопии [Текст] / В.А. Шорин, С.А. Мясникова, Ю.Б. Рогов // Современные проблемы строительства и реконструкции строительства зданий и сооружений: Материалы Международной научно-технической конференции - г. Вологда.: ВоГТУ, 2003. - С. 298 - 301.

*Канд. техн. наук, доц. Н.Р. Рахимова, докт. техн. наук, проф. Р.З. Рахимов  
(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)  
Россия, г. Казань*

## **ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И ДИСПЕРСНОСТИ ДОБАВОК МОЛОТОЙ ОТРАБОТАННОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ НА НОРМАЛЬНУЮ ГУСТотУ И СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ ТЕСТА КОМПОЗИЦИОННОГО ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО**

*В настоящей статье приведены результаты исследований влияния содержания и дисперсности добавок молотой ОФС на нормальную густоту и сроки схватывания шлакощелочного вяжущего.*

Повышение объемов использования отходов и попутных продуктов промышленности является одним из определяющих направлений обеспечения устойчивого развития строительства в частности и мировой цивилизации в целом с позиций обеспечения природных сырьевых и энергетических ресурсов и охраны окружающей среды. Одним из эффективных и перспективных направлений решения этой задачи является развитие производства шлакощелочных вяжущих (ШЩВ) и материалов, изделий и конструкций на их основе [1]. В последние десятилетия мировое развитие производства минеральных вяжущих веществ отличается расширением объемов производства композиционных вяжущих с минеральными добавками природного и техногенного происхождения. Очевидно, что и развитие исследований и производства ШЩВ является перспективным в этом направлении [2]. В частности установлено [3], что применение комплексного вяжущего, состоящего из портландцемента, добавок (30-40%) отработанной формовочной смеси (ОФС) и доменного гранулированного шлака (10-20%) позволяет сократить расход портландцемента на 40-60% при сохранении активности бездобавочного вяжущего.

Для получения смешанных вяжущих большой интерес представляет использование в качестве кремнеземистой минеральной добавки ОФС, которые на 90-95% состоят из кварцевого песка, являются крупнотоннажными отходами литейного производства. Хотя в масштабах всей страны проблема их утилизации стоит не столь остро, как, например, золошлаковых отходов, однако, в условиях отдельных регионов и особенно городов с развитой машиностроительной отраслью постоянное увеличение отвалов литейных производств вызывает серьезные опасения экологов. Так, к началу 90-х годов в России ежегодный выход в отвалы отработанных формовочных смесей составил около 20 миллионов тонн [4].

На кафедре строительных материалов Казанского государственного архитектурно-строительного университета разработаны композиционные шлакощелочные вяжущие (КШЩВ) на основе доменных шлаков и добавок ОФС [5]. Установлено, что введение добавок ОФС с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг в количестве до 40% не приводит к снижению активности ШЩВ, а добавок с дисперсностью 800 м<sup>2</sup>/кг до 30% увеличивает прочность камня шлакощелочного вяжущего на 20% [6].

Для исследований приняты шлакощелочные вяжущие на основе доменных шлаков металлургических комбинатов Орско-Халиловского (ОХМК) и Челябинского (ЧМК), характеристика составов которых приведена в табл. 1, и щелочного затворителя – кальцинированной соды технической производства ОАО «Сода» (г. Салават) состава, приведенного в табл. 2. В качестве тонкодисперсной минеральной добавки применялась ОФС предприятия «КамАЗ-Металлургия», состав которой приведен в табл. 1.

Помол компонентов вяжущего производился на лабораторной планетарной мельнице МПЛ-1. В работе принят отдельный помол компонентов. Причиной этому послужила значительная разница в размалываемости компонентов (рис. 1).

Химический состав металлургических шлаков

|                                | Содержание в % на абсолютно сухую навеску |                                |                  |                                |           |             |           |                   |                  |                               |                 |           | Mo          | Ma          |
|--------------------------------|---|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------|-------------|-----------|-------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|
|                                | SiO <sub>2</sub>                          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO       | CaO         | MgO       | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | п.п.п.    |             |             |
| Шлак ОХМК                      | 39,3-40,02                                | 8,22-10,40                     | 0,25-0,36        | <0,1                           | 0,36-0,47 | 40,00-42,02 | 6,26-7,60 | 0,44-0,58         | 0,39-0,66        | 0,01-0,04                     | 1,27-1,45       | 0,80-1,05 | 0,978-1,011 | 0,205-0,265 |
| Шлак ЧМК                       | 36,51-37,49                               | 11,58-12,50                    | 1,1-1,8          | 0,09-0,16                      | 0,50-0,61 | 34,6-36,22  | 8,61-9,12 | 0,53-0,64         | 0,75-0,95        | <0,01                         | 1,82-2,00       | 0,41-0,75 | 0,892-0,914 | 0,309-0,342 |
| Отработанная формовочная смесь | 90,15-93,50                               | 1,85-2,09                      | 0,05-0,13        | 2,02-2,56                      | 0,01-0,03 | 0,31-0,53   | 0,38-0,49 | 0,13-0,21         | 0,04-0,14        | <0,01                         | 0,14-0,28       | 2,61-3,15 | -           | -           |

Таблица 2

Химический состав соды

| Наименование показателя   | Норма ГОСТ 5100-85, марка Б, 1 сорт | Результат анализа |
|---|-------------------------------------|-------------------|
| Массовая доля Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , % не менее                          | 98,2                                | 98,5-98,9         |
| Массовая доля потери при прокаливании (при 270-300 °С), % не более                  | 0,8                                 | -                 |
| Массовая доля хлоридов в пересчете на NaCl, % не более                              | 0,5                                 | 0,3-0,5           |
| Массовая доля железа в пересчете на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % не более     | 0,003                               | 0-0,002           |
| Массовая доля веществ не растворимых в воде, % не более                             | 0,04                                | -                 |
| Массовая доля сульфатов в пересчете на Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , % не более | 0,05                                | 0,01-0,04         |

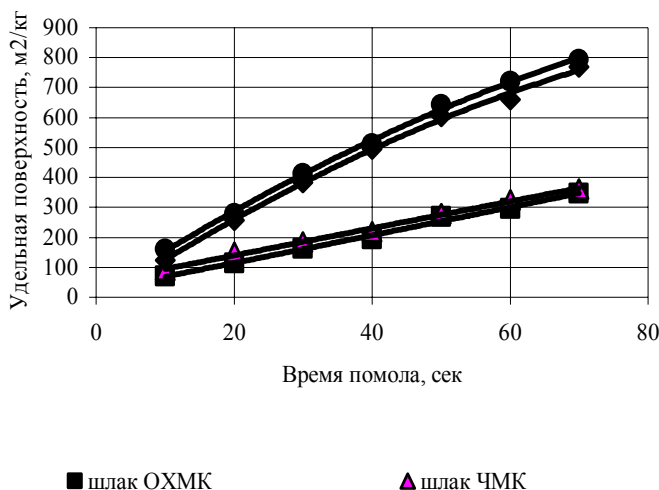


Рис. 1. Влияние времени помола на дисперсность компонентов КШЩВ

На рис. 1 видно, что ОФС при прочих равных условиях размалывается до заданной дисперсности в несколько раз быстрее, чем доменные шлаки. Поэтому совместный помол компонентов приводил бы к слишком тонкому помолу песка и к недомолу шлака. Кроме того, при совместном помоле невозможно контролировать дисперсность отдельных компонентов, что затруднило бы решение задачи исследования влияния дисперсности добавки на свойства КШЩВ. Помол шлаков производился до удельной поверхности до 300 м<sup>2</sup>/кг. Для затворения молотых шлаков применялся водный раствор соды плотностью при 20°С 1,15 г/л.

После помола материалы имели гранулометрический состав, приведенный в таблице 3.

Гранулометрический состав компонентов КШЩВ в зависимости от их дисперсности

| Материал  | Дисперсность, м <sup>2</sup> /кг | Содержание фракций, % |       |       |        |               |
|-----------|----------------------------------|-----------------------|-------|-------|--------|---------------|
|           |                                  | до 5 мкм              | 5-10  | 10-20 | 20-100 | более 100 мкм |
| Шлак ОХМК | 300                              | 17,9                  | 14,4  | 25,5  | 42,2   | 0             |
| Шлак ЧМК  | 300                              | 20,2                  | 14,4  | 23    | 40,7   | 1,6           |
| ОФС       | 200                              | 8,94                  | 3,93  | 7,08  | 21,41  | 58,56         |
|           | 500                              | 27,93                 | 14,93 | 22,58 | 34,56  | 0             |
|           | 800                              | 36,77                 | 18,26 | 24,28 | 20,69  | 0             |

В таблицах 4 и 5 приведены результаты исследований влияния количества и дисперсности добавок ОФС на свойства теста ШЩВ, анализ которых позволяет установить, что введение 20% добавки ОФС дисперсностью от 200 до 800 м<sup>2</sup>/кг практически не влияет на сроки схватывания ШЩВ независимо от вида шлака, на основе которых они получены: в зависимости от вида шлака начало схватывания составляет 50-100 мин., конец 180-250 мин. Увеличение содержания и дисперсности добавки ОФС приводит к удлинению сроков схватывания, которые в зависимости от вида шлака для КШЩВ с содержанием 60% ОФС составляют: начало – 90-280 мин., конец с 320-500 мин.

ТАБЛИЦА 4

Влияние количества и дисперсности добавок КП и ОФС на свойства шлакощелочного вяжущего на основе шлака ОХМК

| Добавка | Количество добавки, % | Удельная поверхность добавки, м <sup>2</sup> /кг |                           |       |                       |                           |       |                       |                           |       |
|---------|-----------------------|--|---------------------------|-------|-----------------------|---------------------------|-------|-----------------------|---------------------------|-------|
|         |                       | 200  |                           |       | 500                   |                           |       | 800                   |                           |       |
|         |                       | Нормальная густота, %                            | Сроки схватывания, ч-мин. |       | Нормальная густота, % | Сроки схватывания, ч-мин. |       | Нормальная густота, % | Сроки схватывания, ч-мин. |       |
|         |                       |  | начало                    | конец |                       | начало                    | конец |                       | начало                    | конец |
| -       | 0                     | 24,9   | 1-20                      | 3-50  | 24,9                  | 1-20                      | 3-50  | 24,9                  | 1-20                      | 3-50  |
| ОФС     | 20                    | 24,9   | 1-10                      | 3-40  | 25,3                  | 1-20                      | 3-50  | 25,5                  | 1-40                      | 4-10  |
|         | 40                    | 24,8   | 1-50                      | 4-20  | 25,7                  | 2-20                      | 5-00  | 26,1                  | 2-50                      | 5-30  |
|         | 60                    | 24,8   | 3-00                      | 5-50  | 26,1                  | 3-50                      | 7-00  | 26,7                  | 4-40                      | 8-20  |

ТАБЛИЦА 5

Влияние количества и дисперсности добавок КП и ОФС на свойства шлакощелочного вяжущего на основе шлака ЧМК

| Добавка | Количество добавки, % | Удельная поверхность добавки, м <sup>2</sup> /кг |                           |       |                       |                           |       |                       |                           |       |
|---------|-----------------------|--|---------------------------|-------|-----------------------|---------------------------|-------|-----------------------|---------------------------|-------|
|         |                       | 200  |                           |       | 500                   |                           |       | 800                   |                           |       |
|         |                       | Нормальная густота, %                            | Сроки схватывания, ч-мин. |       | Нормальная густота, % | Сроки схватывания, ч-мин. |       | Нормальная густота, % | Сроки схватывания, ч-мин. |       |
|         |                       |  | начало                    | конец |                       | начало                    | конец |                       | начало                    | конец |
| -       | 0                     | 25,8   | 0-50                      | 3-00  | 25,8                  | 0-50                      | 3-00  | 25,8                  | 0-50                      | 3-00  |
| ОФС     | 20                    | 25,8   | 0-50                      | 3-00  | 26,2                  | 1-00                      | 3-10  | 26,4                  | 1-00                      | 3-30  |
|         | 40                    | 25,7   | 1-30                      | 3-40  | 26,6                  | 2-00                      | 4-20  | 27,0                  | 2-30                      | 4-50  |
|         | 60                    | 25,6   | 2-40                      | 5-20  | 27,0                  | 3-30                      | 6-20  | 27,6                  | 4-20                      | 7-40  |

Указанное удлинение сроков схватывания КШЩВ с увеличением содержания добавки объясняется значительным снижением содержания реакционноспособной фазы (доменного шлака).

Введение добавок ОФС дисперсностью 200 м<sup>2</sup>/кг практически не влияет на нормальную густоту КШЩВ. С увеличением тонкости помола добавок ОФС до 500 и 800 м<sup>2</sup>/кг и содержания их до 60% нормальная густота увеличивается пропорционально увеличению содержания добавки от 24,9% до 26,1-26,7% для КШЩВ на шлаке ОХМК и до 27-27,6% для КШЩВ на основе шлака ЧМК.

Вязущие с добавками ОФС выдержали испытание на равномерность изменения объема.

#### Литература

1. Брандштетр, И. Некоторые перспективы неорганических композиционных материалов 21 века [Текст] / И. Брандштетр // Строительные материалы, оборудование и технологии, 2001. - № 7. – С. 10 - 12.
2. Рахимов, Р.З. Достижения, проблемы и перспективные направления развития исследований и производства шлакощелочных вяжущих и бетонов [Текст] / Р.З. Рахимов // Материалы десятых академических чтений РААСН «Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения». Пенза-Казань. 24-29 апреля 2006. - С. 57 - 59.
3. А. с. 1838269 С04 В 7/19. Сиваков и др. Комплексное гидравлическое вяжущее [Текст]. – 1991.
4. Денисов, Г.Н. Открытое письмо председателю правительства Российской Федерации М.М. Касьянову [Текст] // Строительная газета, 2003. - № 42. – С. 3.
5. Гатауллин Р.Ф., Хабибуллина Н.Р., Рахимов Р.З., Александров А.В., Морогов В.И., Рахимов М.М. Вяжущее. Патент РФ на изобретение №2287498, опубл. 20.11.2006. Бюлл. № 32.
6. Гатауллин, Р.Ф. Исследование влияния добавок отработанных формовочных смесей на свойства композиционных шлакощелочных вяжущих [Текст] / Р.Ф. Гатауллин, Н.Р. Хабибуллина, Р.З. Рахимов, А.В. Александров, В.И. Морогов // Вестник отделения строительных наук РААСН, Белгород, 2005. – вып. 9. – С. 160 - 163.

Докт. техн. наук, проф. А.А. Реутов

(Брянский государственный технический университет)

Россия, г. Брянск, тел. (4832) 68-89-51; e-mail: AAREUTOV@yandex.ru

Ст. преп. С.Л. Эманов

(Брянский государственный технический университет)

Россия, г. Брянск, тел. (4832) 58-82-15, (4832) 68-89-51; e-mail: SLEMANOV@yandex.ru.

## ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ БЛОКА НА СОХРАННОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПАКЕТА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Выполнено сравнение величины сил, удерживающих кирпич в пакете при образовании блока и когда блок не образуется. Установлено ухудшение сохранности пакетов при образовании блоков. Рассмотрены условия образования блоков. Определены условия предотвращения образования блоков. Приведены результаты экспериментов.

Forces holding a separate brick and group of bricks (block) in package are considered. A comparison of these forces is carried out. It is established that formation of the block worsens safety of a package. The reasons of blocks formation are considered. Conditions preventing blocks formation found. Results of experiments are presented.

При движении автомобиля на каждый кирпич, находящийся в пакете, действует инерционная сила, которая стремится выдвинуть кирпич из пакета. Выдвижение, а затем выпадение кирпича, приводит к разрушению пакета, увеличению потерь и снижению качества кирпича, задержкам автотранспорта при разгрузке. Определим причины выдвижения кирпичей.

В работе [1] рассмотрен отдельный кирпич, находящийся в  $i$ -ом ряду и  $j$ -ом столбце пакета, при выдвижении которого на его гранях возникают силы трения, удерживающие его в пакете (рис. 1). Определены составляющие удерживающей силы  $F_{y\delta}$ , возникающие на горизонтальных  $F_{y\delta}^z$  и вертикальных  $F_{y\delta}^e$  гранях кирпича.

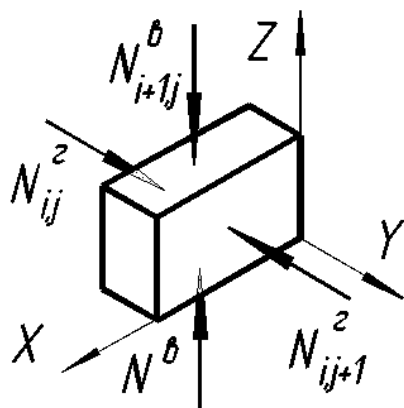


Рис. 1. Схема действия сжимающих сил на гранях кирпича

$$F_{y\delta}^z = f_k (N_{i,j}^e + N_{i+1,j}^e); \quad (1)$$

$$F_{y\delta}^e = f_k (N_{i,j}^z + N_{i,j+1}^z), \quad (2)$$

где  $f_k$  - коэффициент трения скольжения кирпича по кирпичу;

$N_{i,j}^z$  и  $N_{i,j+1}^z$  - горизонтальные сжимающие силы;

$N_{i,j}^e$  и  $N_{i+1,j}^e$  - вертикальные сжимающие силы.

Вертикальные сжимающие силы увеличиваются от верхнего ряда к нижнему (первому) на величину веса кирпича  $G$ .

$$N_{i,j}^e = N_{i+1,j}^e + G. \quad (3)$$

Горизонтальные сжимающие силы, передаваемые от одного кирпича к другому, уменьшаются. Это связано с тем, что между кирпичами каждого ряда имеются технологические зазоры, и для передачи горизонтальной силы кирпич должен быть сдвинут на величину зазора. Вследствие этого возникают силы трения, которые уменьшают горизонтальные сжимающие силы по направлению к центру пакета.

$$N_{i,j+1}^z = N_{i,j}^z - f_k (N_{i+1,j}^e + N_{i,j}^e). \quad (4)$$

Целостность пирамиды кирпича будет обеспечена при условии  $F_{y\delta} \geq F_{\delta}$ , где  $F_{\delta}$  - сила инерции, стремящаяся выдвинуть кирпич из пакета.

Во время транспортирования из пакета может выдвигаться не только один кирпич, но и несколько кирпичей, вместе составляющие блок.

Рассмотрим блок, состоящий из  $p$  кирпичей по высоте и  $n$  кирпичей по ширине (рис. 2), и определим силу  $T_{y\delta}^{\delta}$ , удерживающую его от выдвигания из пакета.

Предположим, что относительное смещение кирпичей внутри блока отсутствует. Тогда

$$T_{y\delta}^{\delta} = \sum_{j=1}^n T_j^z + \sum_{i=1}^p T_i^e, \quad (5)$$

где  $T_j^z$  - силы трения на горизонтальных гранях верхнего и нижнего кирпичей в  $j$ -ом столбце;

$T_i^e$  - силы трения на вертикальных гранях крайних кирпичей в  $i$ -ом горизонтальном ряду;

$$T_j^z = f_k (N_{i,j}^e + N_{i+p,j}^e); \quad (6)$$

$$T_i^e = f_k (N_{i,j}^z + N_{i,j+n}^z). \quad (7)$$

Сравним силы, удерживающие в пакете отдельный кирпич и блок кирпичей. Для этого сравним составляющие  $F_{y\delta}^z$  и  $T_j^z$ , а также  $F_{y\delta}^e$  и  $T_i^e$ . Из формул (1) и (6) следует, что  $T_j^z = F_{y\delta}^z$  при  $p=1$ , а при  $p>1$  сила  $T_j^z$  меньше, чем  $F_{y\delta}^z$  у отдельного кирпича внизу столбца. Таким образом, выдвинуть блок из  $p$  рядов легче, чем выдвинуть нижний ряд блока. Причем, чем больше рядов в блоке, тем меньше величина горизонтальной составляющей удерживающей силы.

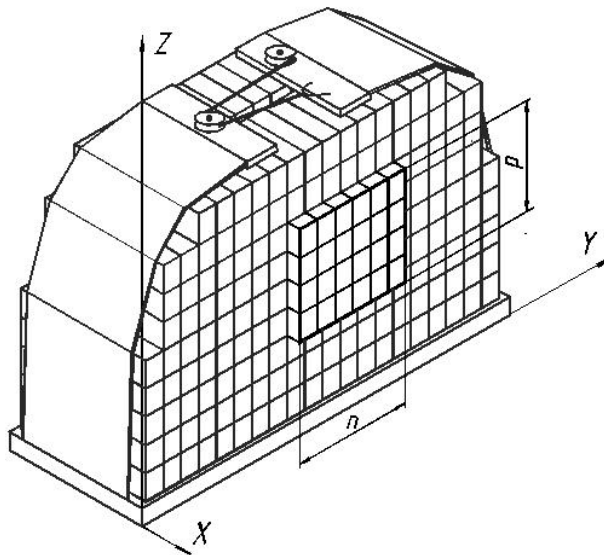


Рис. 2. Образование блока кирпичей в пакете

Из (2) и (7) следует, что в случае расположения блока в зоне, где отсутствуют горизонтальные сжимающие силы,  $F_{y\delta}^e = T_i^e = 0$ . Если же блок расположен в зоне, где имеет место горизонтальное сжатие, то при  $n=1$   $T_i^e = F_{y\delta}^e$ . При  $n > 1$  сила  $T_i^e$  меньше, чем  $F_{y\delta}^e$  у отдельного ближайшего к краю кирпича. Таким образом, выдвинуть блок из  $n$  столбцов легче, чем выдвинуть один столбец блока ближайший к краю пакета.

Поскольку образование блоков является вредным явлением, уменьшающим сохранность пакета кирпича, определим условия образования блоков. Рассмотрим отдельно взаимодействие кирпичей в ряду и столбце, то есть возможность выдвигания из пакета столбца или горизонтального ряда кирпичей.



Предположим, что под действием силы инерции из  $j$ -го столбца пакета выдвигается кирпич  $i$ -го ряда (рис. 3, а). При этом на вышележащий  $(i+1)$  кирпич со стороны  $i$ -го кирпича будут действовать силы трения, пытающиеся выдвинуть этот кирпич из пакета.

$$f_k \cdot N_{i+1,j}^e = f_k \cdot (N_j^e + G \cdot k),$$

где  $N_j^e$  - вертикальное усилие, передаваемое от обвязки на верхний кирпич  $j$ -го столбца;

$k$  - число рядов над рассматриваемым кирпичом  $i$ -го ряда.

Вышележащий  $(i+1)$  кирпич удерживается в пакете силами трения о соседние кирпичи

$$f_k [N_j^e + G(k-1) + (N_{i+1,j}^e + N_{i+1,j+1}^e)].$$

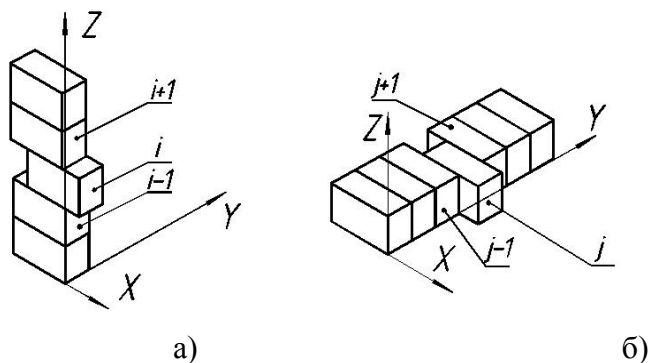


Рис. 3. Схемы взаимодействия кирпичей при выдвигении одного кирпича из пакета

Вышележащий  $(i+1)$  кирпич не будет выдвигаться вместе с  $i$ -ым кирпичом, если удерживающие его силы больше выдвигающих.

$$[N_j^e + G(k-1) + (N_{i+1,j}^e + N_{i+1,j+1}^e)] > (N_j^e + Gk) \text{ или } (N_{i+1,j}^e + N_{i+1,j+1}^e) > G. \quad (8)$$

Аналогично рассмотрим  $(i-1)$  кирпич  $j$ -го столбца и запишем условие удержания его в пакете:

$$[N_j^e + G(k+2)] + (N_{i-1,j}^e + N_{i-1,j+1}^e) > [N_j^e + G(k+1)], \text{ или } G + (N_{i-1,j}^e + N_{i-1,j+1}^e) > 0. \quad (9)$$

Из выражений (8), (9) следует, что условие удержания в  $j$ -ом столбце нижележащего кирпича выполняется всегда, а вышележащий кирпич не будет выдвигаться при сжатии его горизонтальными силами определённой величины.

Рассмотрим взаимодействие кирпичей в ряду. Выдвижение из  $i$ -го ряда (рис. 3, б)  $j$ -го кирпича создает силы трения  $f_k \cdot N_{i,j}^e$  и  $f_k \cdot N_{i,j+1}^e$ , стремящиеся выдвинуть соседние кирпичи  $(j-1)$  и  $(j+1)$ . При равномерном распределении по ширине пакета силы  $N_j^e$  кирпич  $(j-1)$  удерживается в пакете силой  $F_{y0}^e + f_k \cdot N_{i,j-1}^e$ , а  $(j+1)$  кирпич - силой  $F_{y0}^e + f_k \cdot N_{i,j+2}^e$ .

Условие удержания в пакете кирпичей  $(j-1)$  и  $(j+1)$  имеют вид:

$$F_{y0}^e + f_k \cdot N_{i,j-1}^e > f_k \cdot N_{i,j}^e, \quad (10)$$

$$F_{y0}^e + f_k \cdot N_{i,j+2}^e > f_k \cdot N_{i,j+1}^e. \quad (11)$$

Из условий (8) и (9) с учётом (4) следует, что кирпич  $(j-1)$  выдвигаться не будет. Выдвижение кирпича  $(j+1)$ , расположенного ближе к середине пакета, возможно при условии  $f_k > 1$ . Поскольку для кирпичей  $f_k \leq 0,62$ , то образование блоков в рядах можно считать невозможным.

Таким образом, в пакете могут образовываться только вертикальные блоки кирпичей. Для предотвращения образования вертикального блока необходимо устранить технологические зазоры между кирпичами и сжимать горизонтальные ряды силами определённой величины.

Были проведены эксперименты по определению сил, удерживающих кирпич в пакете. Для этого на плоском поддоне формировались две стопы кирпича на расстоянии 25 мм друг от друга. При укладке стопы между кирпичами горизонтальных рядов создавались технологические зазоры 1 - 2 мм.

На сформированные стопы кирпича укладывалась гибкая обвязка и стягивалась натяжным устройством. Сила натяжения определялась динамометром.

Для определения сил  $\Phi_{y\delta}$  кирпич смещали нагрузочным винтом. Сила, при которой происходило смещение кирпича, фиксировалась динамометром.

В результате обработки проведенных измерений методами математической статистики определены средняя величина удерживающей силы  $\Phi_{y\delta}$  и доверительная случайная погрешность  $\varepsilon(P)$  для каждого кирпича стопы (рис. 4). При обработке результатов принята доверительная вероятность  $P=0,95$ .

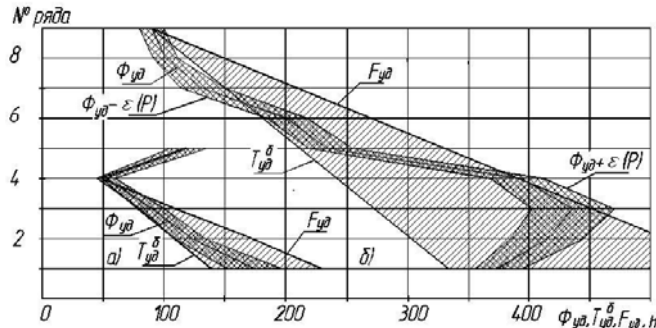


Рис. 4. Зависимость сил  $F_{y\delta}$ ,  $\Phi_{y\delta}$ ,  $T_{y\delta}^{\delta}$  от номера ряда: а - для первого столбца пирамиды кирпича; б - для восьмого столбца пирамиды кирпича

На рис. 4 приведены также результаты расчета, учитывающие возможность образования блоков. Образование в столбце вертикального блока заданной величины является случайным событием. Поэтому величина силы, удерживающей кирпич в пакете, может находиться в пределах от минимальной  $T_{y\delta}^{\delta}$ , когда блоком будет весь столбец, до максимальной  $F_{y\delta}$ , если блоки в столбце не образуются. На рисунке эта зона заштрихована под углом  $45^\circ$ . Зона между  $\Phi_{y\delta} + \varepsilon(P)$  и  $\Phi_{y\delta} - \varepsilon(P)$  заштрихована в клетку.

Для первого столбца пирамиды кирпича области расчетных и экспериментальных значений перекрывают друг друга. В 7 и 8 рядах 8-го столбца имеется расхождение расчетных и экспериментальных значений сил. Разность величин  $T_{y\delta}^{\delta}$  и  $\Phi_{y\delta}$  в восьмом ряду составляет 6 Н или 5,2%, а в седьмом - 7,1 Н или 5,6%. Это связано с тем, что верхний ряд кирпичей при натяжении гибкой обвязки плотно сжимается, а наличие кирпичей с непараллельными гранями приводит к образованию свода и уменьшению нагрузки на нижние ряды кирпичей. ГОСТ 379-95 допускает непараллельность граней кирпича. Кроме того, величина коэффициента трения не является постоянной. В расчетах был принят коэффициент трения равный 0,62. СНиП II-22-81 [2] устанавливает величину коэффициента трения 0,6 - 0,7 в зависимости от влажности.

Сравнение результатов эксперимента и расчетных данных показывает, что величина  $\Phi_{y\delta}$  в рядах с 5 по 9 ближе к величине  $T_{y\delta}^{\delta}$ , чем к  $F_{y\delta}$ . Это значит, что в верхних рядах пакета образуются блоки, имеющие различное количество кирпичей по высоте, которые снижают сохранность пакета кирпича.

Проведенные исследования выявили необходимость уплотнения верхних рядов пирамиды кирпича до формирования транспортного пакета. Конструкция уплотняющего устройства, позволяющая уплотнять горизонтальные ряды пирамиды кирпича при выполнении подъемно-транспортных работ, создана на основе способа обвязки пакета штучных изделий [3], внедренного на предприятии ОАО «Буммаш» г. Ижевск.

#### Литература

1. Журавлев, Н.П. Прогрессивные способы и средства пакетирования и контейнеризации строительных материалов [Текст] / Н.П. Журавлев, А.А. Реутов, С.Л. Эманов и др. // Транспорт в промышленности строительных материалов. - М.: ВНИИЭСМ. Промышленность строительных материалов, 1987. - Вып. 1. - С. 6-20.
2. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции [Текст].

3. Громов, Н. С. Способ обвязки пакета штучных изделий [Текст]: а. с. 1121185 СССР: МКИ<sup>3</sup> В 65 В 13/02/. А.А. Реутов, С.П. Сазонов, С.Л. Эманов (СССР). - № 3597386/28-13; заявл. 30.05.83; опубл. 30.10.84, Бюл. № 40. - 3 с.

Асп. С.С. Саенко

(Ростовский государственный строительный университет)

Россия, г. Ростов-на-Дону, тел. 8 918 544 10 49; e-mail: svkuba@mail.ru

## О СОХРАНЕНИИ КАЧЕСТВА ВЯЖУЩЕГО В РАБОЧЕМ КОТЛЕ АБЗ

*Т.к. в расходной ёмкости асфальтобетонного завода при приготовлении асфальтобетонной смеси значительно ухудшаются свойства битума, для сохранения его качества предложено приёмно-заборное устройство битума. Устройство обеспечивает слив вяжущего из возвратного битупровода в рабочий котел, исключая взаимодействие его с кислородом (окисление).*

*As in account capacity of a factory on manufacture of asphalt at preparation of asphalt properties of bitumen are considerably worsened, for preservation of its quality the drain device of bitumen is offered. The device provides plums knitting of the returnable pipeline in the working boiler, excepting its interaction with oxygen (oxidation).*

О важности для дорожного строительства органического вяжущего - битума - спорить не приходится. Безусловно, качество и долговечность автодорог в значительной степени зависят от физико-механических свойств битума, использованного для приготовления горячих асфальтобетонных смесей.

Наблюдения последних десятилетий показывают, что наряду с увеличением доли грузовых автомобилей на отечественных автомобильных дорогах, повышением интенсивности движения, появлением шипованной резины и пр. наблюдается значительное сокращение сроков службы автодорог. Контрольные проверки производства битумов на нефтеперерабатывающих заводах, а также в местах хранения и непосредственного использования показали, что вяжущие не отвечают требованиям ГОСТ по причинам недостаточной трещиностойкости, теплоустойчивости, низкой эластичности и слабой адгезии к поверхности минеральных материалов [1]. Эти недостатки являются причиной преждевременного разрушения дорожных, мостовых и аэродромных асфальтобетонных покрытий, что приводит к неоправданно высоким затратам на ремонт и сдерживает развитие сети автодорог с твёрдым покрытием.

В сентябре 2005 года состоялась коллегия Федеральной службы по надзору в сфере транспорта Минтранса РФ. По инициативе коллегии была создана рабочая группа, в состав которой вошли такие организации как Росавтодор, ФГУ «Росдортехнология, ГП «РосдорНИИ», ОАО «СоюздорНИИ», РГУ нефти и газа им. Губкина, ТНК-ВР и ООО «Транзитсервисресурс». Основной задачей рабочей группы является повышение качества битума, производимого нефтеперерабатывающими заводами.

То, что острая проблема дорожного строительства (качество органического вяжущего) обсуждается на правительственном уровне - важный шаг на пути развития дорожной отрасли. Однако не стоит забывать о такой особенности битума как старение, приводящее к ухудшению качества этого дорожно-строительного материала. В процессе подготовки битума на асфальтобетонных заводах значительному изменению подвержены его свойства. На каждом технологическом этапе (при подготовке в хранилище, при обезвоживании (в случае наличия влаги в битуме), в расходной ёмкости) качественные характеристики битума ухудшаются, что приводит к сокращению сроков службы покрытий автодорог из асфальтобетонов на данном вяжущем.

В связи с этим мероприятия, принятые Федеральной службой по надзору в сфере транспорта, не должны быть исчерпывающими. Сложившаяся на АБЗ ситуация требует принятия срочных мер, катастрофически необходима разработка новых устройств, методов и технологий, основывающихся на принципе сохранения исходного качества битума.

Установлено, что наибольшие изменения физико-механических свойств вяжущего при подготовке его на АБЗ происходят в расходной ёмкости (рабочем котле), где воздействие таких факторов старения как кислород и температура наиболее интенсивны.

Как выяснилось в ходе экспериментальных исследований состояния битума в рабочем котле [2] - основная причина необратимых структурных изменений вяжущего при приготовлении асфальтобетонной смеси – окисление его кислородом воздуха, происходящее при сливе битума из возвратного битумопровода в котёл. Существующая технология подготовки битума в рабочем котле предполагает подачу вяжущего непрерывно работающим битумным насосом в битумный дозатор по прямому битумопроводу. Вяжущее, не попавшее в дозатор, по возвратному битумопроводу сливается под давлением битумного насоса обратно в котёл. Т. к. слив осуществляется на поверхность вяжущего в котле, происходит интенсивное разбрызгивание его, активное волнообразование и непрерывное обновление поверхности. Всё это приводит к интенсивному окислению битума кислородом воздуха, беспрепятственно проникающего в рабочий котёл через неплотности крышки люка-лаза. При этом высокая рабочая температура (140 – 160 °С) играет роль активатора старения.

В отделе «Автоматики и энергосберегающих технологий» ДортрансНИИ РГСУ под руководством профессора Ю.Я. Никулина разработан ряд способов и устройств [3, 4], цель которых - сохранение исходных физико-механических свойств (качества) битума при подготовке его в рабочем котле АБЗ.

Одним из таких устройств является приёмно-заборное устройство битума «погружного» типа. Данное устройство предназначено для плавного слива вяжущего (без разбрызгивания и взаимодействия с кислородом) из возвратного битумопровода. Устройство представляет собой цилиндрическую ёмкость 1 с дном 2 в форме усечённого конуса (рис. 1) и такой же формы крышкой 6, с заборным 4, приёмным 8 и входным 9 патрубками, а также воздушным клапаном 7. Входной патрубок 9 приёмно-заборного устройства оборудован клапаном с датчиком уровня 5 поплавкового типа, устройство имеет ножки 3. Для компенсации тепловых потерь, происходящих при движении битума по прямому и возвратному битумопроводам, в устройстве установлен теплоэлектрический нагреватель (ТЭН) 10, работающий в соответствии с датчиком температуры 11 в автоматическом режиме.

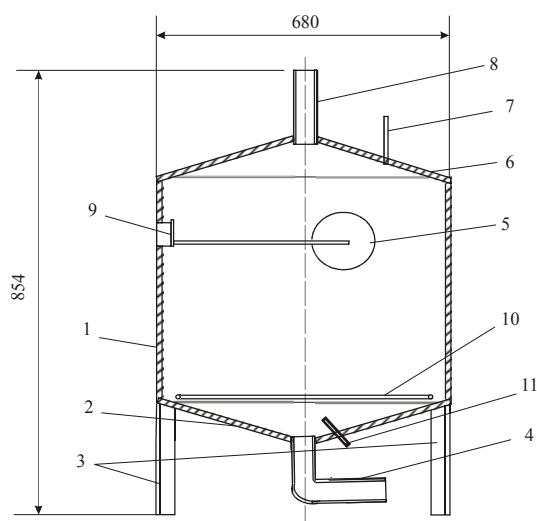


Рис. 1. Приёмно-заборное устройство битума «погружного» типа. 1 – цилиндрический корпус, 2 – дно, 3 – ножки, 4 – заборный патрубок, 5 – поплавок, 6 – крышка, 7 – воздушный клапан, 8 – приёмный патрубок, 9 – входной патрубок, 10 – теплоэлектрический нагреватель (ТЭН), 11 – датчик температуры

Приёмный патрубок устройства вмонтирован в крышку и располагается на одной оси с заборным патрубком, вмонтированным в дно устройства. Такое расположение патрубков выбрано для того, чтобы при заборе битума из устройства и сливе вяжущего в него, создавались наименьшие сопротивления работе битумного насоса. Кроме того, для уменьшения гидравлических сопротивлений приёмный и заборный патрубки имеют равные диаметры, а особая форма (конус) дна и

крышки приёмно-заборного устройства обеспечивает слив и забор битума с наименьшими потерями напора.

Входной патрубок, оборудованный клапаном и регулятором уровня поплавкового типа, служит для заполнения приёмно-заборного устройства битумом из рабочего котла и располагается на высоте около 3/4 высоты корпуса устройства. Клапан с регулятором уровня ограничивает объём возможного заполнения устройства битумом, создавая тем самым в устройстве пространство, незаполненное вяжущим. Это способствует осуществлению слива битума из возвратного битумопровода без гидравлических сопротивлений.

Вмонтированный в крышку устройства воздушный клапан по превышению давления служит для выпуска воздуха из устройства при повышении давления в нём во время работы, а также при первоначальном погружении и заполнении. В связи с особенностью работы клапана (клапан работает только на выпуск воздуха из устройства при повышении давления в нём) в приёмно-заборном устройстве будет создаваться некоторое разрежение, что положительно влияет на слив вяжущего из возвратного битумопровода, а также на процесс заполнения устройства битумом из рабочего котла через входной патрубок.

Приёмный и заборный патрубки устройства подключают посредством гибких шлангов соответственно к возвратному и всасывающему патрубкам рабочего котла (рис. 2). Периодически забираемый для приготовления асфальтобетонной смеси битум из контура приёмно-заборного устройства компенсируется вновь поступающим через входной патрубок устройства вяжущим из рабочего котла.

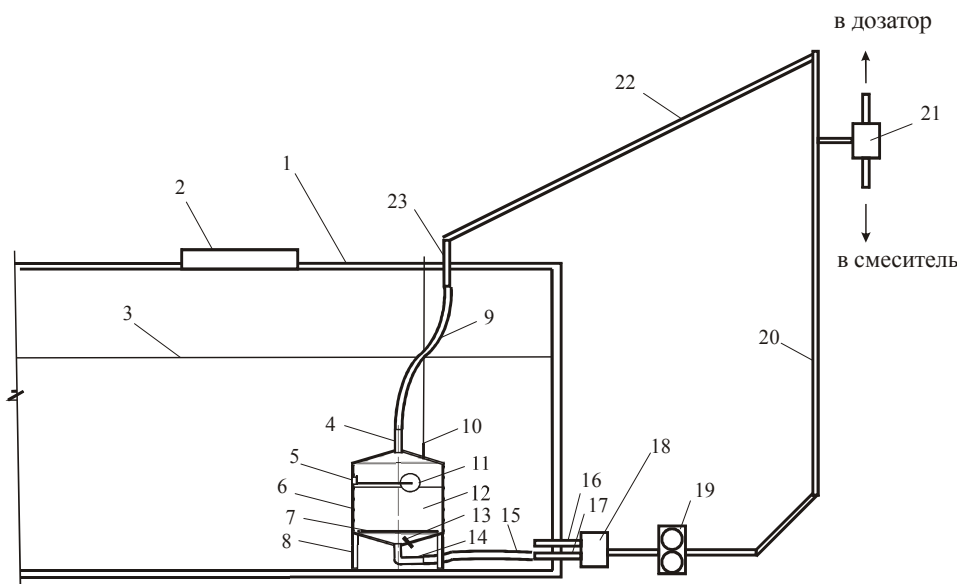


Рис. 2. Схема подключения приёмно-заборного устройства битума. 1 – рабочий котёл, 2 – люк-лаз, 3 – битум, 4 – приёмный патрубок, 5 – входной патрубок, 6 – приёмно-заборное устройство, 7 – теплоэлектрический нагреватель (ТЭН), 8 – ножки, 9 – гибкий шланг, 10 – воздушный клапан, 11 – датчик уровня поплавкового типа, 12 – минимально необходимый объём битума, 13 – датчик температуры, 14 – заборный патрубок, 15 – гибкий шланг, 16 – дополнительный всасывающий патрубок, 17 – основной всасывающий патрубок, 18 – трёхходовой кран битумного насоса, 19 – шестерёнчатый битумный насос, 20 – прямой битумопровод, 21 – трёхходовой кран битумного дозатора, 22 – возвратный битумопровод, 23 – возвратный патрубок

Для слива битума из системы в конце рабочей смены в расходную ёмкость вмонтирован дополнительный патрубок, подключённый через трёхходовой кран к битумному насосу. По окончании работы битумный насос переключается на дополнительный патрубок и с помощью реверса насоса осуществляется слив вяжущего из битумопроводов в рабочий котёл.

По разработанным эскизам, полученным в результате детальной конструкторской проработки с выполнением необходимых гидравлических и тепловых расчётов, на заводе «Резметкон»

(г. Батайск) был изготовлен экспериментальный образец приёмно-заборного устройства, фотография которого представлена на рис. 3.



Рис. 3. Экспериментальный образец приёмно-заборного устройства битума

При очевидной простоте как в реализации, так и эксплуатации устройство способствует сохранению качества битума на этапе подготовки его в расходной ёмкости АБЗ, способствуя тем самым значительному увеличению сроков службы автодорог.

#### Литература

1. Филиппов, С. Диалог состоялся [Текст] / С. Филиппов // «Автомобильные дороги», 2006. – № 5. – С. 29 – 32.
2. Саенко, С.С. Изменения свойств битума в рабочем котле АБЗ [Текст] / С.С. Саенко // «Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки» - Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. - № 4.
3. Пат. 2278142 РФ, МПК С 10 С 3/12. Способ забора битума из рабочего котла при приготовлении асфальтобетонной смеси на асфальтобетонном заводе [Текст] / Ю.Я. Никулин, С.К. Илиополов, С.С. Саенко. – 2005113486/03; Заявлено 03.05.05; Опубл. 20.06.06. Бюл. № 17. Приоритет 03.05.05. – С. 7.
4. Илиополов, С.К. Способы снижения интенсивности старения битума в рабочем котле [Текст] / С.К. Илиополов, Ю.Я. Никулин, С.С. Саенко // «Строительство – 2006»: мат-лы междунар. научн.-практич. конф. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2006. – С. 30 – 32.

Соискатель М.П. Степанова, канд. техн. наук, доц. Т.И. Шелковникова, канд. техн. наук, доц. С.В. Черкасов, канд. техн. наук, доц. Л.Н. Адоньева  
(Воронежский государственный архитектурно-строительный университет)  
Россия, г. Воронеж

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПЛОТНЯЮЩЕГО УСИЛИЯ НА СВОЙСТВА СЫРЦА И КЕРАМИЧЕСКОГО ЧЕРЕПКА

В настоящее время во многих регионах России остро стоит проблема производства высокомарочного керамического кирпича. Повышение качества строительных изделий на основе дисперсных и дисперсно-зернистых материалов возможно при глубоком рассмотрении таких вопросов как: сланцевидная структура сырца и изделия; неоднородная и неоптимальная плотность по объему изделия; удаление запрессованного воздуха; режимы приложения и снятия прессовой нагрузки; влияние на процесс прессформования плотности частиц, влажности формовочной смеси и др.

Основной целью данной работы стало исследование влияния В/Т-отношения и режима формования на напряженное состояние прессуемых образцов; рассмотрение влияния В/Т-отношения на однородность прессовок по высоте; выявление влияния В/Т-отношения на величину усадочных деформаций в различных направлениях.

Для исследований использовалось глинистое сырье «Боево – II» месторождения без добавок, которое отличается высокой чувствительностью к сушке и умеренной пластичностью.

В ходе испытаний исследовался диапазон влагосодержания 0,075 ... 0,225. Формование образцов осуществлялось при В/Т = 0,075; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,225. Использовалось статическое одностороннее прессование на гидравлическом прессе при давлении 15МПа, 20МПа, 25МПа. После выпрессовки образцов из матрицы штангенциркулем измеряли высоту и диаметр каждого образца, а также для определения усадки на образцах наносились метки базовых отрезков (рис. 1).

Формование образцов проводили в металлической форме диаметром и высотой 5 см. После подвялки образцы помещались в сушильный шкаф, где при ступенчато возрастающей температуре высушивались до постоянной массы. Обжиг производился при температурах 900<sup>0</sup>С, 950<sup>0</sup>С, 1000<sup>0</sup>С.

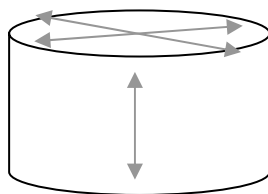


Рис. 1. Схема определения усадки

После снятия прессового давления и извлечения образцов из формы возникают обратные деформации – расширение образцов [1].

Зависимости упругих деформаций в сырце от величины давления прессования имеют сложный характер. Величина непосредственно измеряемого упругого расширения прессовок после снятия давления определяется не только упругостью твердых частиц, но и явлениями в других фазах системы. Наибольшие упругие деформации самих же твердых частиц могут вызываться не сжимающими, а сдвигающими и изгибающими усилиями. Между тем, при увеличении давления и соответствующем повышении плотности упаковки системы относительная роль изгибающих усилий снижается. Кроме того, с ростом давления увеличивается роль сжатия зерен, при котором "эффективный" модуль упругости повышается. При разрушении части зерен могут устраняться упругие деформации. В результате совокупности указанных явлений наблюдается сложный характер зави-



симости упругих деформаций в прессовках от величины давления и, в целом, замедленный рост по сравнению с пропорциональной зависимостью.

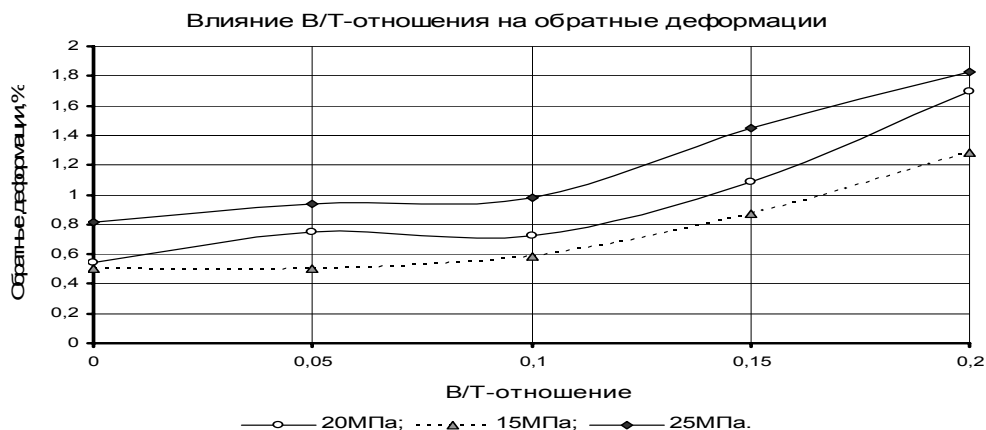


Рис. 2. Влияние В/Т – отношения на обратные деформации

Имеющее место расширение не дает возможности получить отпрессованные изделия с максимально возможной плотностью, что и является причиной образования некоторых пороков сырца (трещин, расслоений).

Для процессов раннего структурообразования весомое значение имеет воздушная усадка в различных направлениях [2]. Установлено, что с увеличением давления прессования усадка всегда уменьшается. Так при давлении 25 МПа она составила в горизонтальном направлении: на верхней грани - 6,5%; на нижней грани - 4,5%; в вертикальном направлении (на боковой поверхности) - 4,3%. При давлении 15 МПа – в горизонтальном направлении: на верхней грани – 8,1%, на нижней грани – 6,3%; в вертикальном направлении – 6,1%. При давлении 20 МПа – в горизонтальном направлении: на верхней грани – 6,1%, на нижней грани – 5,7%; в вертикальном направлении – 5,4%. Наибольшее значение воздушной усадки в горизонтальном направлении на верхней грани. Эти явления возникают в результате одностороннего упругого расширения прессовок, а также обуславливаются неоднородностью приложенной силы по высоте.

Анализ огневой усадки показал, что чем более высокой плотности достиг сырца в процессах прессования и сушки, тем меньше огневая усадка.

Полученная анизотропная структура сырца, вызванная разноплотностью прессовок по высоте, проявилась после обжига и привела к различиям в значениях огневой усадки на верхней и нижней гранях. Так, наибольшая огневая усадка наблюдается на верхней грани при различных температурах обжига (при 950<sup>0</sup>С – до 6%, при 1000<sup>0</sup>С – до 4%).

Выполненные исследования показали, что наиболее совершенная структура керамического камня из глинистого сырья «Боево – II» месторождения обеспечивается при В/Т-отношении 0,12 – 0,15; давлении прессования 20 МПа и температуре обжига 950<sup>0</sup>С. Полученные лабораторные образцы имели  $R_{сж} = 63$  МПа.

Таким образом, детальное рассмотрение деструктивных процессов, происходящих при основных технологических операциях получения керамического черепка, и умение ими управлять является эффективным способом повышения качества керамических материалов на основе низко-сортного минерального сырья.

#### Литература

1. Попильский, Р.Я. Прессование порошковых керамических масс [Текст] / Р.Я. Попильский, Ю.Е. Пивинский, - М.: Металлургия, 1983. – 176 с.
2. Августинник, А.И. Керамика [Текст]. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1975. – 592 с.

Ст. преп. Т.К. Цебоева, академик МАИЭС, докт. техн. наук, проф. Т.К. Акчурун  
(Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет)  
Россия, г. Волгоград, тел. (8442) 96-99-57; e-mail: postmaster@vgasu.ru

## ОБЛИЦОВОЧНЫЕ ПЛИТЫ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ БЕСКЛИНКЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО

Приоритетными научно-исследовательскими работами являются те, которые направлены на всемерное ресурсосбережение и широкое внедрение промышленных отходов в производство строительных материалов. При этом особую ценность представляют работы, выявляющие новые возможности тех или иных отходов по созданию местных вяжущих веществ и строительных материалов на их основе, что приводит к экономии природных ресурсов и улучшению экологической обстановки.

Значительным промышленным отходом, возможности переработки которого раскрыты еще не полностью, является бой щелочных искусственных стекол. Исследования, проведенные на кафедре «СМиСТ» ВолгГАСУ показали, что молотое стекло, не твердеющее в естественных условиях, при увеличении температуры и *pH*-среды более 9 проявляет гидравлическую активность [1].

Растворение тонкоизмельченного стекла можно рассматривать как процесс деполимеризации, осуществляемый посредством гидролиза. Для того чтобы этот процесс протекал, необходим катализатор, способный хемосорбироваться на поверхности частиц, повышая тем самым координационное число поверхностных атомов и ослабляя их кислородные связи с другими атомами, расположенными в последующем слое. Таким катализатором является гидроксил-ион в щелочных растворах.

В результате растворения кремнезема образуются пересыщенные растворы мономера  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , которые, будучи термодинамически нестабильными вследствие дегидратации, подвергаются конденсационной полимеризации.

Процесс полимеризации включает в себя конденсацию силанольных групп:  $\equiv \text{SiOH} + \text{HOSi} \equiv \Rightarrow \equiv \text{SiOSi} \equiv + \text{H}_2\text{O}$ , приводящую к появлению молекулярно связанных единичных образований кремнезема с постоянно возрастающими размерами, причем такими образованиями являются агрегаты с возрастающим числом составляющих их частиц-золей, гелей.

Вместе с тем, близко расположенные соседние группы  $\text{Si}(\text{OH})_4$  на полимерных разновидностях конденсируются, приводя к формированию более компактных разновидностей. Дальнейшая внутренняя конденсация объемных полимерных структур сопровождается перестройкой до более уплотненного состояния, приводит к образованию первичных коллоидных частиц  $\text{SiO}_2$ , поверхность которых покрыта силанольными группами  $\text{SiOH}$ . При  $\text{pH} > 9$  коллоидные частицы кремнезема (золи) формируются и растут быстро. Далее идет процесс агрегации - образования вязких золой и гелей.

При низких значениях *pH* частицы кремнезема несут очень незначительный ионный заряд и, следовательно, могут сталкиваться друг с другом и агрегировать с образованием геля поликремниевой кислоты, обладающего вяжущими свойствами. Гель, находясь в метастабильном состоянии, стремится перейти в более устойчивые формы. При этом скорость перехода аморфного кремнезема в кристаллическое состояние возрастает с увеличением содержания ионов  $\text{OH}^-$  и повышения температуры.

Введение в состав вяжущего алюмосодержащей добавки способствует нейтрализации щелочных поровых растворов после окончания процесса образования силикатных связей и образованию устойчивых щелочных гидроалюмосиликатов типа  $\text{R}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ . Данная система проявляет гидравлические свойства.

Результаты рентгеноструктурного анализа (рис. 1) позволили установить, что новообразования, синтезируемые в процессе тепловлажностной обработки, представлены цеолитоподобными синтетическими продуктами типа гидронефелин состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (2,13; 2,25; 2,79; 2,85; 3,68; 6,38; 10,27 Å); натролит состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (2,62; 3,17; 3,38; 3,98; 4,10; 9,01; 13,51 Å); анальцит состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (2,69; 2,94; 3,19; 3,22; 5,00; 6,35; 7,04; 8,16 Å) и кварцем (1,45; 1,54; 1,95; 3,34; 3,46; 4,53 Å).

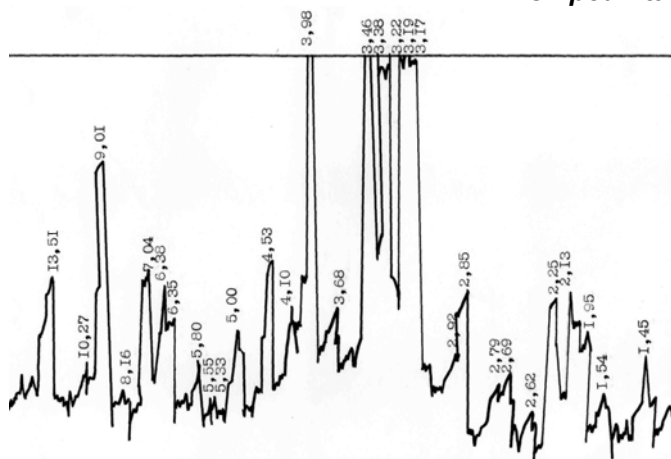


Рис. 1. Рентгенограмма бесклинкерного вяжущего, активизированного щелочным компонентом, после тепловлажностной обработки

Как показали проведенные в соответствии с требованиями ГОСТ 310.1 – 310.4 исследования, одним из основных факторов, влияющих на активность тонкоизмельченного стеклобоя, является содержание щелочного активизатора. Содержание щелочного активизатора должно быть оптимальным, т.е. минимально необходимым для растворения нужного количества кремнезема и достаточным для реакции поликонденсации кремниевой кислоты. При несоблюдении этого положения, т.е. при избыточном содержании щелочи в воде затворения, образование геля поликремниевой кислоты не происходит, и твердение материала осуществляется, в основном, за счет образования низкоосновных гидросиликатов щелочных металлов состава  $R_2O \cdot nSiO_2$ . В результате этого материал получается неводостойким, что недопустимо для бетонов, предназначенных для наружной отделки. При недостаточном же содержании щелочи в воде затворения получаемый материал имеет низкие прочностные показатели, вследствие того, что не образуется необходимого количества геля поликремниевой кислоты. Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3.

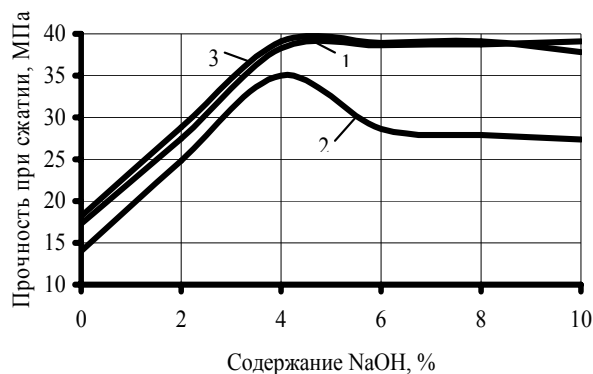


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии бесклинкерного вяжущего от содержания в нем щелочного активизатора: 1 – после тепловлажностной обработки; 2 – водонасыщенного; 3 – высушенного после водонасыщения

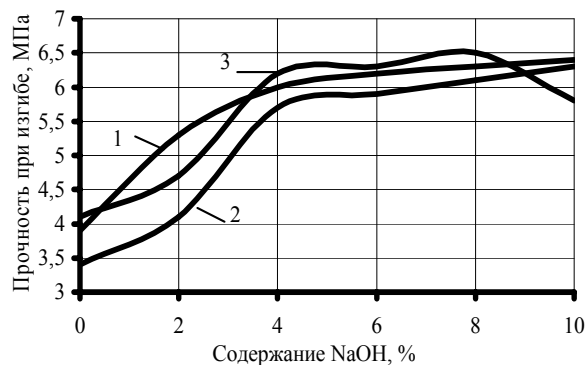


Рис. 3. Зависимость прочности при изгибе бесклинкерного вяжущего от содержания в нем щелочного активизатора: 1 – после тепловлажностной обработки; 2 – водонасыщенного; 3 – высушенного после водонасыщения

Как следует из полученных данных, наиболее оптимальным является 4%-ный водный раствор NaOH. Дальнейшее же повышение концентрации щелочи в растворе приводит к резкому снижению коэффициента размягчения (рис. 4) и к появлению при хранении во влажных условиях на поверхности образцов высолов. Следует учитывать, что повышению pH среды более 9 также способствуют  $R_2O$ , находящиеся в составе стекла и переходящие в раствор в результате гидролиза.

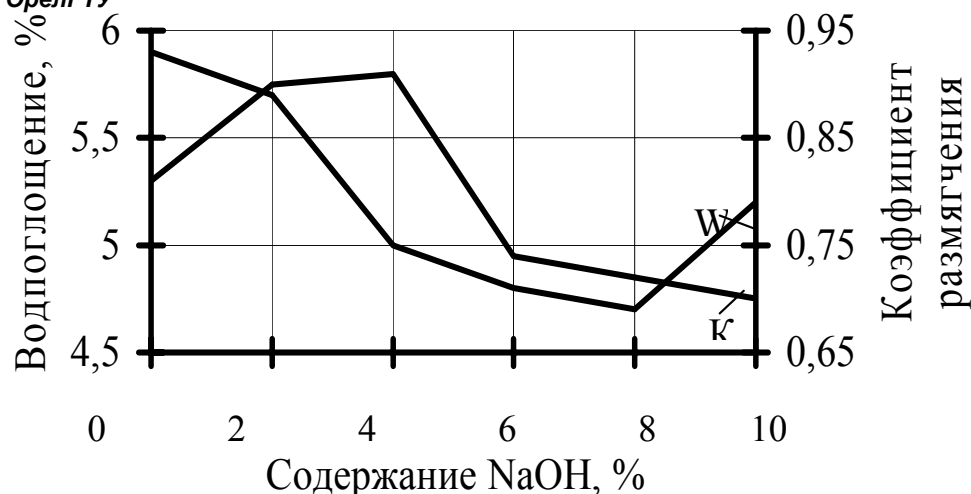


Рис. 4. Зависимость водопоглощения ( $W$ ) и коэффициента размягчения ( $K_p$ ) бесклинкерного вяжущего от содержания в нем щелочного активизатора

Введение в состав вяжущего алюмосодержащей добавки способствует нейтрализации щелочных поровых растворов после окончания процесса образования силикатных связей и образованию устойчивых щелочных гидроалюмосиликатов. Проведенные исследования показали, что оптимальное количество алюмосодержащей добавки, обеспечивающее максимальную прочность бесклинкерного вяжущего на основе стеклобоя, является 20 % (рис. 5). Влияние температуры и продолжительности пропаривания на активность бесклинкерного вяжущего оптимального состава проводилось при водо-вяжущем отношении равном 0,4. Результаты исследований приведены в табл. 1.

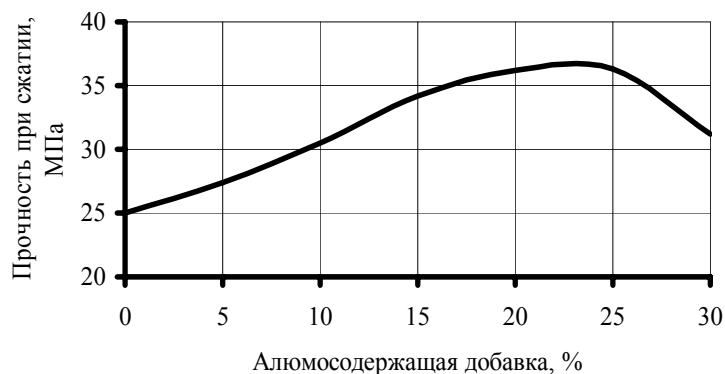


Рис. 5. Зависимость активности бесклинкерного вяжущего от количества алюмосодержащей добавки

Таблица 1

Влияние температуры и продолжительности пропаривания на активность бесклинкерного вяжущего

| №№ серии | Температура пропаривания, С° | Режим пропаривания, ч | Активность вяжущего, МПа |
|----------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1        | 70 ±5                        | 3 + 4 + 2             | 14,5                     |
| 2        |                              | 3 + 7 + 2             | 18,4                     |
| 3        |                              | 3 + 10 + 2            | 18,8                     |
| 4        | 80 ±5                        | 3 + 4 + 2             | 19,2                     |
| 5        |                              | 3 + 7 + 2             | 29,1                     |
| 6        |                              | 3 + 10 + 2            | 34,1                     |
| 7        | 90 ±5                        | 3 + 4 + 2             | 21,3                     |
| 8        |                              | 3 + 7 + 2             | 38,2                     |
| 9        |                              | 3 + 10 + 2            | 38,6                     |

Как показали проведенные исследования, оптимальный режим тепловлажностной обработки, позволяющий получать вяжущее активностью выше 35,0 МПа: подъем температуры – 3 ч; экзотермическая выдержка при температуре  $90 \pm 5$  °С - 7 ч; снижение температуры - 2 ч, при этом определяющее влияние оказывает удельная поверхность вяжущего и количество щелочного активизатора.

Проведенные исследования показали, что при различной удельной поверхности с учетом количества щелочного активизатора, можно получить вяжущее в широком диапазоне активности (рис. 6, 7).

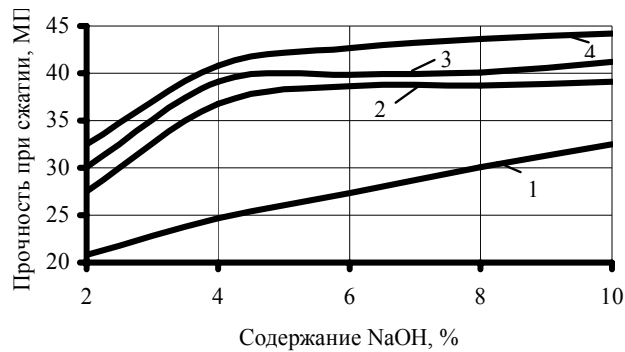


Рис. 6. Зависимость прочности при сжатии бесклинкерного вяжущего от количества едкого натра и удельной поверхности: 1)  $S_{y\partial} = 3000$  см²/г; 2)  $S_{y\partial} = 4000$  см²/г; 3)  $S_{y\partial} = 5000$  см²/г; 4)  $S_{y\partial} = 6000$  см²/г

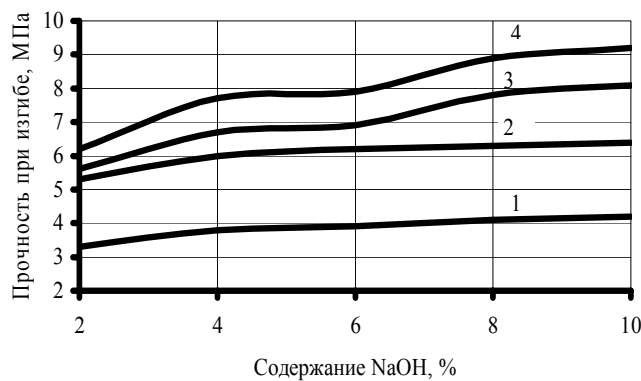


Рис. 7. Зависимость прочности при изгибе бесклинкерного вяжущего от количества едкого натра и удельной поверхности: 1)  $S_{y\partial} = 3000$  см²/г; 2)  $S_{y\partial} = 4000$  см²/г; 3)  $S_{y\partial} = 5000$  см²/г; 4)  $S_{y\partial} = 6000$  см²/г

Зависимости активности бесклинкерного вяжущего от его удельной поверхности и количества щелочного компонента представлены на рис. 8.

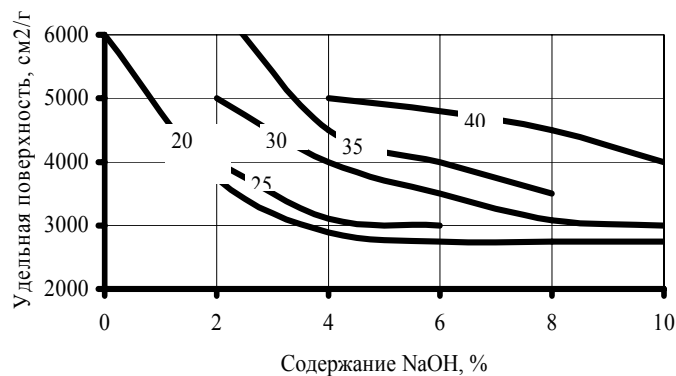


Рис. 8. Активность вяжущего (МПа) в зависимости от удельной поверхности и содержания щелочного активизатора

Искусственные стекла характеризуются высокой инертностью по отношению к действию эксплуатационных факторов, поэтому физико-химические свойства бетонов на их основе выше, чем для материалов на основе традиционных вяжущих веществ, даже в тяжелых условиях эксплуатации. Основные физико-технические свойства мелкозернистых бетонов на основе бесклинкерного вяжущего (в качестве заполнителей использовали песок с  $M_k = 1,15$ ) приведены в таблице 2.

Таблица 2

*Основные физико-технические свойства мелкозернистых бетонов на основе бесклинкерного вяжущего*

| Физико-технические свойства | Ед. изм.          | Показатели свойств |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| Средняя плотность           | кг/м <sup>3</sup> | 2100-2400          |
| Прочность на сжатие         | МПа               | 30-35              |
| Прочность при изгибе        | МПа               | 4,3-4,8            |
| Водопоглощение (по массе)   | %                 | 6,0 -8,0           |
| Коэффициент размягчения     | -                 | 0,94               |
| Морозостойкость             | цикл              | более 200          |

Характер омоноличивания материалов из мелкозернистых бетонов на основе бесклинкерного вяжущего предопределяет возможность изготовления из них как крупноразмерных, так и мелкоштучных изделий с легко регулируемыми свойствами.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана технологическая схема производства облицовочных плит из мелкозернистого бетона на основе бесклинкерного вяжущего, состоящая из следующих операций:

- подготовка вяжущего, которая включает в себя совместный помол, предварительно отдозированных сырьевых компонентов, в шаровой мельнице до удельной поверхности 4000-4500 см<sup>2</sup>/г;
- подготовка заполнителя;
- приготовление бетонной смеси в стандартной бетономешалке принудительного действия;
- формование изделий виброуплотнением с пригрузом;
- тепловлажностную обработку изделий в пропарочной камере ямного типа по режиму: 2+3+6+2 ч при температуре 90± 5<sup>0</sup>С;
- распалубку плит;
- складирование готовых изделий.

Разработанная технологическая схема позволяет получать облицовочные плиты на существующих линиях по выпуску изделий из цементных бетонов без существенного усложнения технологического процесса производства.

Использование бесклинкерного вяжущего, по сравнению с портландцементом, позволяет снизить себестоимость 1м<sup>2</sup> облицовочных плит на 28-30%.

#### Литература

1. Акчурин, Т.К. Использование сырьевых ресурсов Волгоградской области в технологии строительных материалов [Текст] / Т.К. Акчурин, О.К. Потапова, И.В. Стефаненко // Волгоград: ВолгГАСА, 1999. - 231 с.
2. Потапов, Д.А. Кинетика структурообразования бесклинкерного вяжущего на основе стеклобоя [Текст] / Д.А. Потапов, Т.К. Акчурин, Т.К. Цебоева // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы IV Международной науч.-техн. конф. Ч.1 / Волгоград: ВолгГАСУ, 2005. - С. 117-121.
3. Цебоева, Т.К. Отделочные материалы на основе модифицированного бесклинкерного вяжущего [Текст] // Социально-экономические и технологические проблемы развития строительного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства региона: материалы Всероссийской науч.-техн. конф. Ч. 1 / Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. - С. 31-34.

УДК 629.331

*Канд. техн. наук, доц. Н.В. Бакаева  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел*

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПАРКА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ Г. ОРЛА**

*Статья посвящена анализу численности автомобильного парка города Орла, исследованиям его возрастной и марочной структур. В ней отражена динамика роста численности легковых автомобилей в сравнении с общероссийской динамикой. Затрагиваются проблемы, возникающие при эксплуатации автомобилей на современном этапе развития автотранспортной отрасли, а также содержатся пути решения части этих проблем.*

Автомобильная промышленность и автомобильный транспорт являются одним из важнейших секторов экономики, занимают ведущее положение в транспортном обеспечении населения и отраслей экономики; их устойчивое функционирование является необходимым условием обеспечения целостности и национальной безопасности страны. Транспорт сегодня обеспечивает около 12% валового национального продукта и при этом обеспечивает до 20% налоговых поступлений в федеральный бюджет.

Высокие темпы автомобилизации сохраняются во всем мире. В России темпы роста автомобильного парка за последние пятнадцать лет были также значительными. Так, после распада Советского Союза парк легковых автомобилей России вырос более чем в 2,5 раза - до 25 млн. единиц в 2005 году. Темпы его роста в 90-х годах составляли в среднем около 12% в год, что почти в два-три раза больше, чем в странах Восточной (5,4%) и Западной Европы (2%) [1]. Такая бурная динамика роста автомобильного парка связана с преодолением спада производства отечественного автопрома, а также с активным внедрением на российский рынок мировых производителей автомобилей и ввозом гражданами поддержанных автомобилей из зарубежья.

В настоящее время, по мере насыщения рынка автомобилями, наблюдается некоторое снижение роста автопарка страны, но и на сегодняшний день этот прирост составляет не менее 5% в год [1]. По данным российского союза автостраховщиков на 1 января 2005 года в стране насчитывается более 33 млн. единиц техники, из них более 25 млн. – легковые автомобили. Вместе с тем следует отметить, что указанная численность автомобильного парка в России пока еще невелика.

В результате такого "большого скачка" сложилась очень неоднородная региональная картина автомобилизации России, которую можно охарактеризовать показателем насыщенности автомобилями, приходящимся на 1000 человек населения. Так, в мегаполисах и крупных городах и областях этот показатель составляет следующие значения: Москва - 286 автомобилей на 1000 человек, Санкт-Петербург – 215, Калининградская область - 235, Ханты-Мансийский АО - 247, Камчатская область – 231. Вместе с тем в некоторых регионах достигнуть такой уровень удастся лишь к 2010 году. В среднем же по стране этот показатель составляет: 150 ... 160 автомобилей на 1000 человек, что ниже соответствующего показателя экономически развитых стран в 3-4 раза. Для сравнения, в Соединенных штатах – 750 автомобилей, в Западной Европе - более 420, а в некоторых странах, например, Швейцарии – 1000 [3].

На протяжении последних пяти лет в г. Орле и Орловской области также происходил рост численности автомобилей (рис. 1). Как видно из графика, динамика годового прироста количества легкового автотранспорта в г. Орле выше, чем в целом по России, только в 2003 г. годовой прирост составил 8,7%, а за 2005 г. - 10%.

Показатель автомобилизации населения г. Орла находится примерно на общероссийском уровне – 167 автомобилей на 1000 жителей. Это связано с увеличившимся за последнее время количеством предприятий автомобильного комплекса по продаже и обслуживанию автомобилей.

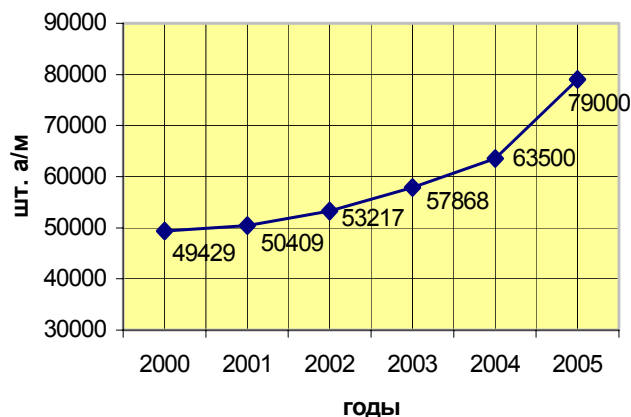


Рис. 1. Динамика роста парка легковых автомобилей в г. Орле

С ростом парка легковых автомобилей в России менялась и его структура, что является прямым следствием развития автомобилестроения. По данным ОАО «АСМ-холдинг» за период конца 2004 - начала 2005 гг. наблюдался некоторый спад производства автомобилей в России. За истекший 2005 год сократилось производство на 5,9% во всех секторах автомобилестроения. Кроме того, очевидно, что сделана окончательная ставка на развитие сборочных производств автомобилей зарубежных моделей на территории России [3].

При исследовании видовой (марочной), возрастной структур нами использовались экспертные оценки журнала «За рулем», отдельные экспертные оценки структуры парка автомобилей, сведения о динамике выпуска автомобилей конкретными производителями, данные об импорте различных марок автомобилей и данные Управления ГИБДД Орловской области.

На сегодняшний день «львиную» долю легковых автомобилей в г. Орле и Орловской области, как и в целом по России, составляет продукция Волжского автозавода - порядка половины всего количества автотранспорта (рис. 2). Необходимо заметить, что в большинстве случаев это устаревшие «классические» модели ВАЗ 2101-2107, но вместе с тем можно отметить стабильный рост доли более современных моделей ВАЗ 2108-2115. Не вдаваясь в детали анализа, надо констатировать, что ВАЗ – крупнейший автозавод России, полностью сохранил свое доминирующее положение в автомобильной промышленности страны и структуре ее легкового парка.

Наиболее заметной тенденцией в структуре автопарка является рост удельного веса автомобилей иностранного производства. Причём, если ранее рост количества иномарок осуществлялся в основном за счёт импорта подержанных автомобилей, то сейчас активно ввозятся новые иномарки. Так, в масштабах всей страны динамика следующая: в 2000 г. - 45 тыс. иномарок, в 2001 г. - 76,5 тыс., в 2002 г. - 110 тыс., в 2003 г. уже - 200 тыс., а в 2004 г. - 350 тыс. Цифры здесь впечатляют. Для сравнения, в 1993 году, согласно данным ГИБДД, в России было зарегистрировано всего 300 тыс. иномарок (без учета продукции ЗАЗа, который к тому времени оказался за границей), или 2,8% от парка. А вот к концу 2003 года этот показатель возрос до 4,3 млн. автомобилей (или 19,1%). В г. Орле этот показатель соответственно составляет 19,6%.

Резко снизился удельный вес автомобилей марок АЗЛК и Иж - третья позиция в общей численности автопарка – 11 и 9% соответственно. Не трудно предположить, что их удельный вес будет постоянно уменьшаться, т. к. АЗЛК оказался неконкурентоспособным и фактически прекратил своё существование, а ИжМаш перестраивается под производство зарубежных марок автомобилей, в частности, южнокорейских KIA.

На четвёртом месте - автомобили марки "Волга" с результатом - 7,3%. Количество этих автомобилей также будет постепенно уменьшаться - ГАЗ объявил о прекращении выпуска легковых автомобилей и в производственной программе остаётся только коммерческий автотранспорт.

Завершают структуру автомобильного парка г. Орла автомобили УАЗ с результатом 5,8%, имеющие свою нишу на рынке, а также прочие автомобили - 2,4%.

Статистические данные о видовой структуре парка легковых автомобилей за период с 2000-2005 гг. приведены на рис. 2. Для классификации автомобилей по формам собственности использовались сведения Управления ГИБДД Орловской области (рис. 3).



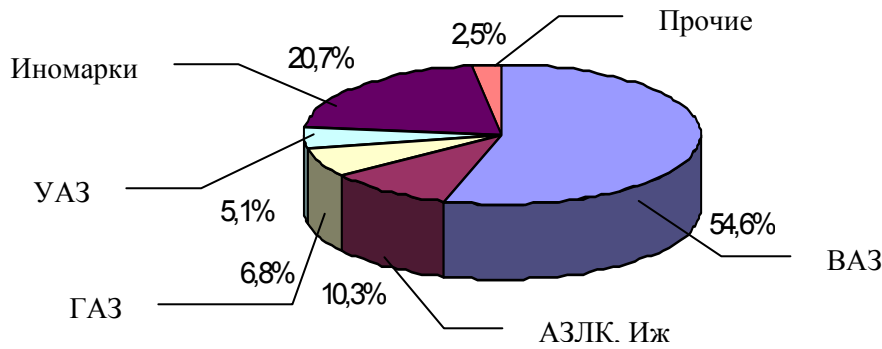


Рис. 2. Структура легкового автопарка г. Орла и Орловской области по маркам на 01.01. 2006 г.

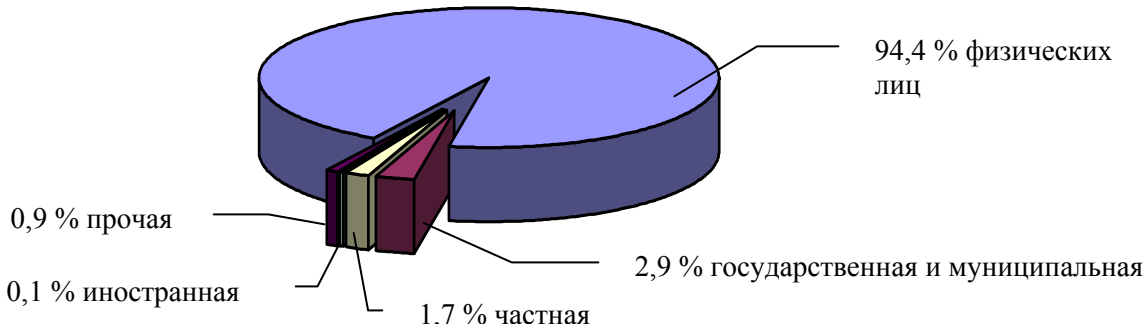


Рис. 3. Структура легкового автопарка г. Орла и Орловской области на 01.01. 2006 г. по форме собственности

Возрастная структура парка легковых автомобилей за последние десять лет изменилась кардинально и имеет следующие особенности. В целом, автомобильный парк России имеет большой срок эксплуатации. В соответствии со статистическими данными доля автомобилей, возраст которых превышает 10 лет, составляет 50% от общего парка, что в абсолютном выражении составляет 12,5 миллионов единиц. Около 40% автомобилей имеют возраст от 5 до 10 лет - это примерно 7,5 миллионов единиц. И только 20% автопарка - относительно «молодые» автомобили, что в абсолютном измерении составляет 5 миллионов автомобилей. Причин этому много, основная причина кроется в уровне жизни населения. Живем мы по-прежнему в очень небогатой стране, где совершенно не налажена система утилизации старых и брошенных автомобилей. На рис. 4 представлена диаграмма, отражающая возрастную структуру автопарка г. Орла.

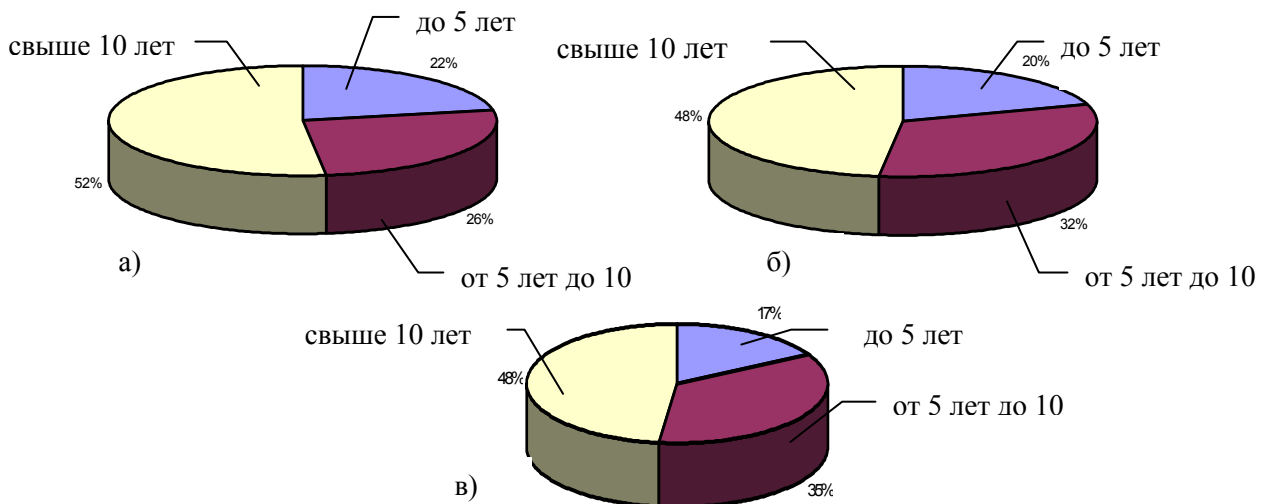


Рис. 4. Возрастная структура автопарка г. Орла и Орловской области: а - на 01.01. 2004 г.; б - на 01.01. 2005 г.; в - на 01.01. 2006 г.

Как видно из диаграммы около половины всего легкового автотранспорта в г. Орле имеют возраст более 10 лет, относительно молодые автомобили составляют почти 20%. Однако наблюда-

ется положительная динамика по «омоложению» автопарка. Так, в г. Орле в период 2003-2005 гг. доля "старых" автомобилей сократилась на 4%, а доля автомобилей в возрасте 5 ... 10 лет увеличилась на 6%. Следует также отметить, что по этому показателю г. Орёл находится на уровне среднего по России, т.е. наш регион нельзя назвать ни отстающим, ни передовым. В целом по стране эта структура выглядит следующим образом (рис. 5).

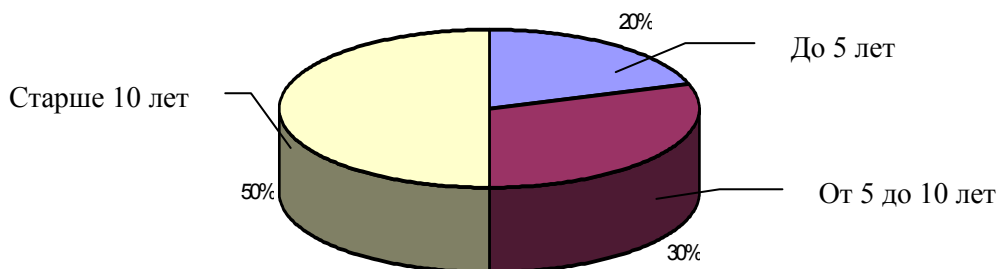


Рис. 5. Возрастная структура автопарка России на 01.01.2005 г.

Такая структура парка не может сохраняться долго, по крайней мере, она ненормальна - в развитых странах средний возраст парка не превышает пяти лет. В связи с этим возникает необходимость совершенствования системы технического обслуживания и ремонта автомобилей, системы государственного контроля за техническим состоянием автотранспорта, обеспечения дорожной и экологической безопасности, решения проблемы утилизации отслуживших свой срок автомобилей.

Нельзя не отметить другие проблемы, связанные с эксплуатацией автомобилей. На сегодняшний день автомобильный транспорт продолжает оставаться наиболее ресурсоемким и опасным для населения и окружающей среды. Им расходуется более 60% нефтяного топлива, 70% трудовых ресурсов, он вызывает более 90% дорожно-транспортных происшествий. На автомобильный транспорт приходится 40 ... 50% загрязнений окружающей среды, а в крупных городах - 70 ... 90%. Вышеперечисленные проблемы, связанные с недобросовестной конкуренцией на рынке услуг автотехобслуживания, некачественным ремонтом транспортных средств, который приводит к гибели и травматизму людей, ежегодным ухудшениям экологической обстановки, не являются открытием для специалистов, работающих в отрасли. Происходящие на автомобильном транспорте изменения и его дальнейшая реформа должны быть увязаны с Федеральным законодательством, в частности, с законами «О техническом регулировании», «Об охране окружающей среды», «О безопасности дорожного движения» и др., Федеральной целевой программой «Развитие автомобильной промышленности России», Концепцией транспортной политики Российской Федерации, постановлениями правительства. Основные проблемы отрасли связаны с отсутствием технических регламентов и ненадлежащим исполнением органами местного самоуправления существующих норм и положений.

На сегодняшний день ведется активная работа над проектом специального технического регламента, рабочее название которого «Об эксплуатационной безопасности колесных транспортных средств». Его содержание должно учитывать требования смежных для автотранспортной отрасли регламентов на разработку, производство, утилизацию авто- и мототехники, а также регламент на перевозки.

Решение этих важных и ответственных задач, стоящих перед автотранспортным комплексом, обеспечивающих эффективную работу автотранспорта, дорожную и экологическую безопасность, возможно на основе формирования технической политики в автотранспортном комплексе, определяющей государственное нормативное, правовое, организационное и экономическое регулирование деятельности в области создания и использования транспортной техники, направленное на безопасное и эффективное функционирование всего автотранспортного комплекса.

#### Литература

1. Доклад Президента Национальной ассоциации предприятий технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств (НАПТО) на Всероссийской конференции «Автомобильный сервис в России: проблемы, задачи, реформа» г. Москва, 23. 06. 2005 г.
2. Техника транспорта. Анализ и отдельные аспекты технической политики. ФГУП «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (НИИАТ)» [Текст]. - М.: Трансконсалтинг, 2002. - 78 с.
3. Пашков, В.И. Российское автомобилестроение в первом полугодии 2005 г. [Текст] / Автомобильная промышленность № 9, 2005. - С. 1 - 3.

Асп. С.В. Живов

(Московский автомобильно-дорожный институт)

Россия, г. Москва, тел. (8495) 151-06-91; e-mail: [info@madi.ru](mailto:info@madi.ru)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ-ТАКСИ

*Рост мобильности населения за последние несколько лет обусловил увеличение спроса на недоступные ранее для широких масс таксомоторные перевозки. В условиях ожесточенной конкуренции между нелегальными и официальными перевозчиками, последние вынуждены искать способы выживания в сложившейся ситуации. При недобросовестной конкуренции со стороны «нелегалов» тарифы на перевозку, предлагаемые таксомоторными предприятиями (ТМП), являются более высокими. Поэтому руководители таксопарков вынуждены искать способы снижения тарифов на перевозку для привлечения клиентуры, при этом качество перевозки и все технические параметры транспортного средства должны остаться неизменными или измениться в лучшую сторону. Одним из верных решений уменьшения тарифа или получения дополнительной прибыли является снижение затрат в эксплуатации на основе совершенствования и развития научно-обоснованных методов и методик обеспечения работоспособного состояния автомобилей.*

*The given article deals with problems that taxi transport has faced after changes in technical maintenance and repair system in 2003. There's a detailed review of a new scientific approach to the problem of taxi transport technical maintenance and repair system organization. Taking into account the previous experience, technical maintenance periodicity optimization model was developed while investigation. The results of practical use of the elaborated model are also shown in this article.*

Как известно, в 2003 году после вступления в силу Закона о техническом регулировании [1] «Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» [2], регламентирующее режимы технического обслуживания (ТО) автотранспортных средств, в том числе и автомобилей-такси, было отменено, а рекомендации заводов-изготовителей не соответствуют специфике таксомоторных перевозок, особенно на начальном этапе (гарантийный период) эксплуатации. Поэтому, в связи с отсутствием научно-обоснованных рекомендаций по определению режимов ТО автомобилей-такси руководители и технические службы ТМП с целью экономии средств при неизменном уровне технического состояния подвижного состава вынуждены назначать режимы ТО практически исходя из собственного опыта. Можно предположить, что из всех режимов ТО, которые включают в себя периодичность ТО, перечень выполняемых работ, трудоёмкость воздействий, оптимизация периодичности ТО является наиболее эффективно реализуемым мероприятием на этапе формирования технического регламента легковых автомобилей-такси.

С учётом сложившейся ситуации сформировалось противоречие между объективной необходимостью повышения эффективности таксомоторных перевозок путём снижения затрат на поддержание автомобилей в технически исправном состоянии и отсутствием научно-обоснованных методов определения периодичности ТО легковых автомобилей-такси, учитывающих как их фактическое состояние и специфику таксомоторных перевозок, так и современные условия функционирования ТМП.

В настоящее время науке известны многие методы определения, корректирования и оптимизации периодичности ТО [3]. Стоит отметить, что некоторые из разработанных ранее методов предназначены для определения периодичности ТО автомобилей, имеющих какое-то среднее техническое состояние (рис. 1).

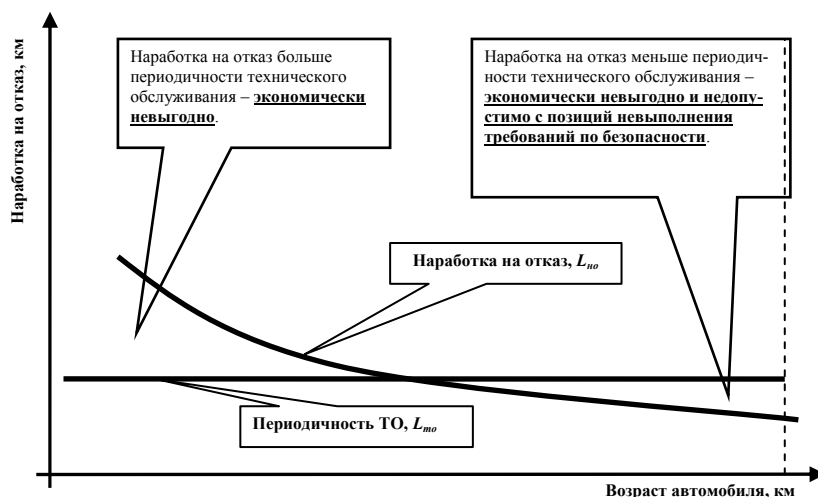


Рис. 1. Представление системы ТО согласно «Положению о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта»

Наибольший же интерес представляют методы корректирования периодичности применительно к конкретным условиям и конкретному парку машин. При определении режимов ТО такими методами периодичность близка по значению средней наработке на отказ и назначается практически индивидуально для каждого автомобиля. Недостатком такого метода можно назвать организационную сложность его реализации в условиях предприятий с относительно малым числом подвижного состава, которыми и являются на данный момент большинство таксомоторных парков.

В связи с вышеизложенным эффективным решением задачи оптимизации периодичности ТО применительно к предприятиям с небольшим списочным составом может стать система, когда весь жизненный цикл автомобиля делится на определенное количество интервалов (интервалы постоянства периодичности ТО) [4], в каждом из которых назначается оптимальная периодичность обслуживания (рис. 2).

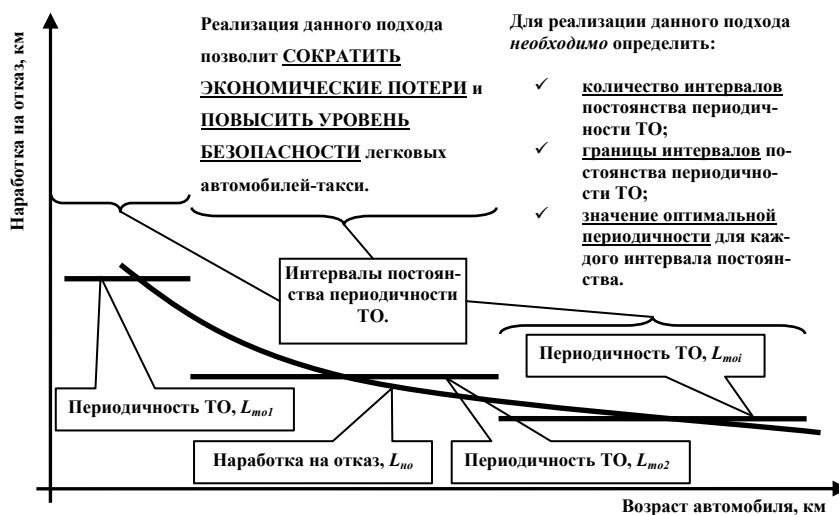


Рис. 2. Предлагаемая система ТО

С целью реализации данного мероприятия было проведено исследование, направленное на повышение эффективности функционирования системы таксомоторных перевозок путём оптимизации режимов технического обслуживания, в результате чего разработана методика оптимизации периодичности технического обслуживания легковых автомобилей-такси, позволяющая определять:

- количество интервалов, в пределах каждого из которых значение периодичности ТО остается постоянным;
- границы интервалов постоянства периодичности ТО;

– значение рациональной периодичности для каждого интервала постоянства.

Необходимо отметить, что в разработанной методике оптимизация периодичности ТО проводилась по перечню работ, который в период действия «Положения о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» входил в состав ТО-2. Поскольку данный вид ТО носит экономическую направленность и в отличие от ТО-1 напрямую не связан с поддержанием в работоспособном состоянии узлов, систем и агрегатов, влияющих на безопасность, хотя и включает в себя весь перечень работ по ТО-1, то при построении модели оптимизации периодичности определяющими критериями были экономические составляющие. С учётом данного обстоятельства и вследствие того, что на какие-то узлы, системы и агрегаты, отказавшие в процессе эксплуатации, оказывалось влияние ТО, а на какие-то системы ТО не воздействовало по тем или иным причинам, ещё одним немаловажным фактором модели оптимизации является корректное формирование потоков отказов легковых автомобилей-такси и установление закономерности их возникновения. Поэтому весь поток отказов был представлен как сумма подпотоков, зависимых и не зависимых от момента проведения ТО (рис. 3).

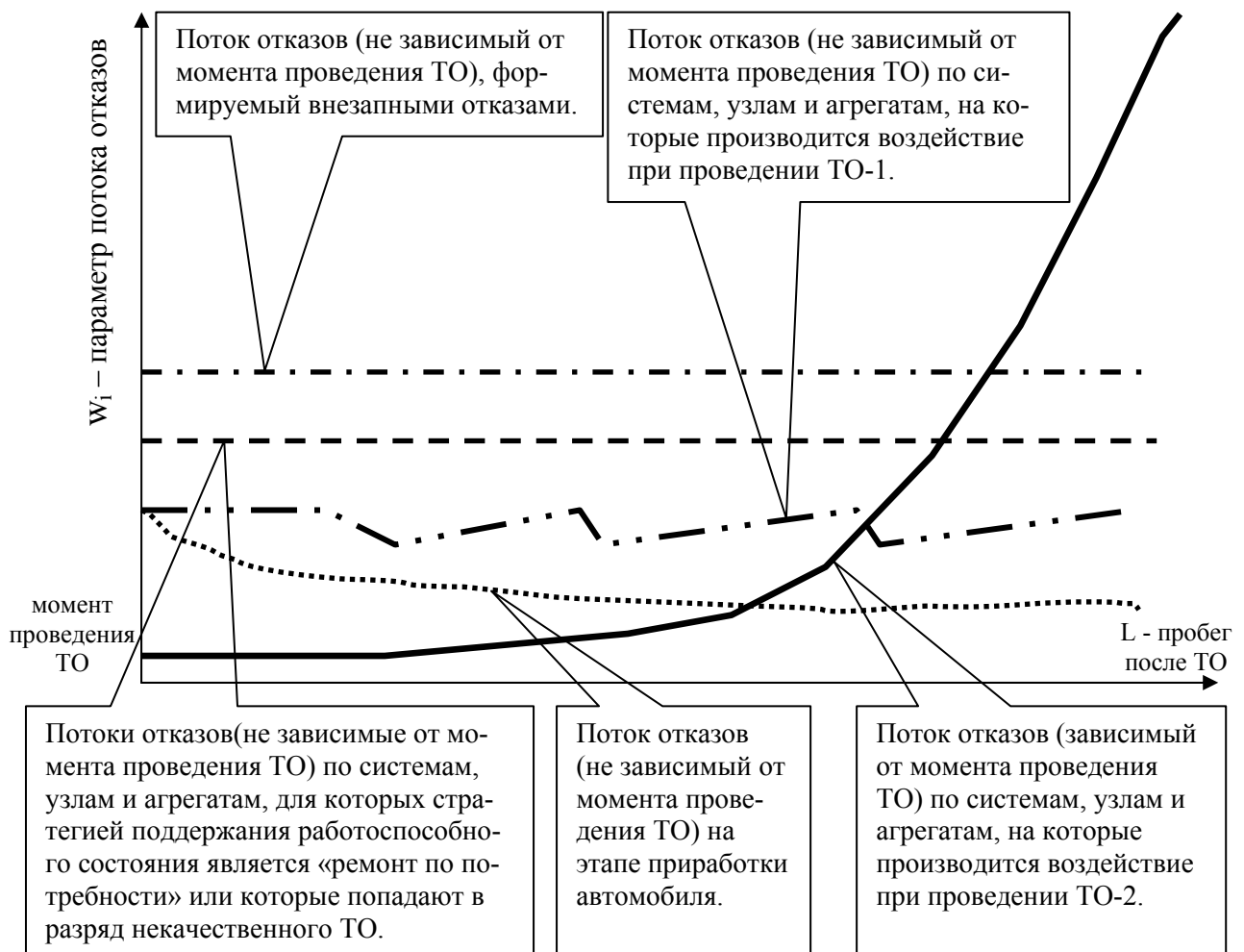


Рис. 3. Функция параметров потока отказов легкового автомобиля-такси в пределах одного периода проведения ТО

С учётом предложенного подхода по решению задачи оптимизации периодичности ТО на основании разработанных функциональных критериев оценки периодичности ТО и в результате установления закономерности возникновения и формирования потоков отказов легковых автомобилей-такси общий вид математической модели имеет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{N_{int}} \left( \sum_{j=1}^5 C_{1j} (l_{i_{TO}}, L_{in}, L_{ie}) \cdot (L_{ie} - L_{in}) + \sum_{j=1}^{Ns_2} C_{2j} (l_{i_{TO}}, L_{in}, L_{ie}) \cdot (L_{ie} - L_{in}) \right) \rightarrow \min$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_{(l_{1_{TO}}, l_{2_{TO}}, \dots, l_{N_{int_{TO}}}, L_{2n}, L_{3n}, \dots, L_{(N_{int})n})}$$

где  $C_{1j}$  – удельные затраты на выполнение технического обслуживания;

$C_{2j}$  – удельные затраты на выполнение текущего ремонта;

$l_{i_{TO}}$  – оптимальная периодичность в  $i$ -ом интервале постоянства периодичности ТО;

$L_{in}$  – нижняя граница  $i$ -го интервала постоянства периодичности ТО;

$L_{ie}$  – верхняя граница  $i$ -го интервала постоянства периодичности ТО.

Проверка достоверности теоретических гипотез проводилась в режиме активного эксперимента на базе ОАО «Таксопарк» города Калуги непосредственно в процессе эксплуатации легковых автомобилей-такси марки ГАЗ-3110 в течение двух лет с охватом всех сезонных периодов года. Результаты моделирования и экспериментальных исследований позволили получить совокупность оптимальных параметров (количество интервалов постоянства периодичности ТО, границы интервалов постоянства периодичности ТО, оптимальные периодичности ТО в каждом из интервалов), модели оптимизации периодичности ТО (табл. 1). Необходимо отметить, что в таблице 1 приведены оптимальные значения без учета кратности, т. е. отношение длины интервала постоянства периодичности ТО соответствующей периодичности ТО не является целым числом. При введении коэффициента кратности значения оптимальных параметров могут незначительно изменяться, не влияя существенным образом на конечный результат модели.

Таблица 1

Значения верхних границ интервалов постоянства периодичности ТО и оптимальных периодичностей ТО

| Количество интервалов | Сумма затрат на ТО при $L_{TOopt}$ , тыс.руб. | Значение верхней границы $i$ -ого интервала постоянства периодичности ТО, тыс.км./<br>Значение оптимальной периодичности ТО в $i$ -ом интервале постоянства $L_{TOi}$ , тыс.км. |           |           |           |          |          |          |          |
|-----------------------|---|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
|                       |   | 1   | 2         | 3         | 4         | 5        | 6        | 7        | 8        |
| 0                     | 720,928                                       | ----  |           |           |           |          |          |          |          |
| 1                     | 682,088                                       | 850/16  |           |           |           |          |          |          |          |
| 2                     | 651,531                                       | 360/31  | 850/7     |           |           |          |          |          |          |
| 3                     | 643,327                                       | 220/48  | 465/13,2  | 850/5,2   |           |          |          |          |          |
| 4                     | 640,094                                       | 180/56,8  | 375/17,4  | 540/8,2   | 850/4,2   |          |          |          |          |
| 5                     | 638,608                                       | 165/60  | 315/20,6  | 450/11,2  | 585/6,4   | 850/3,6  |          |          |          |
| 6                     | 637,746                                       | 150/63,6  | 270/24    | 390/13,8  | 495/8,6   | 600/5,6  | 850/3,6  |          |          |
| 7                     | 637,224                                       | 135/67,4  | 240/27,4  | 345/16,2  | 435/10,8  | 525/7,4  | 615/5,2  | 850/3,4  |          |
| 8                     | 636,874                                       | 120/67,45   | 210/31,33 | 315/19,06 | 405/12,17 | 495/8,37 | 570/6,01 | 645/4,33 | 850/2,95 |

Из графического представления результатов экспериментальных исследований (рис. 4, 5) видно, что с увеличением количества интервалов постоянства периодичности ТО значения верхних границ соответствующих интервалов уменьшается, а соответствующие оптимальные периодичности увеличиваются. Таким образом, с увеличением количества интервалов оптимальная периодичность максимально приближается к значению средней наработки на отказ, что и является реализацией предложенной гипотезы (см. рис. 2).

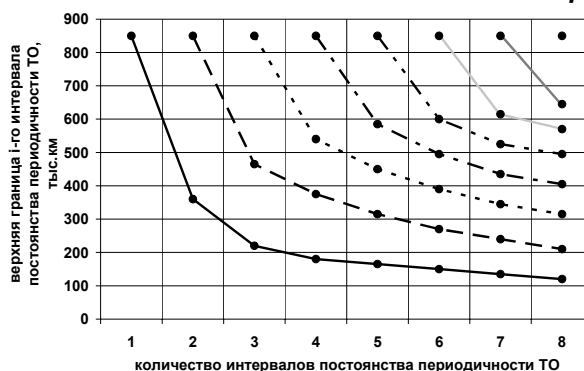


Рис. 4. Зависимость верхней границы интервала постоянства периодичности ТО от количества интервалов

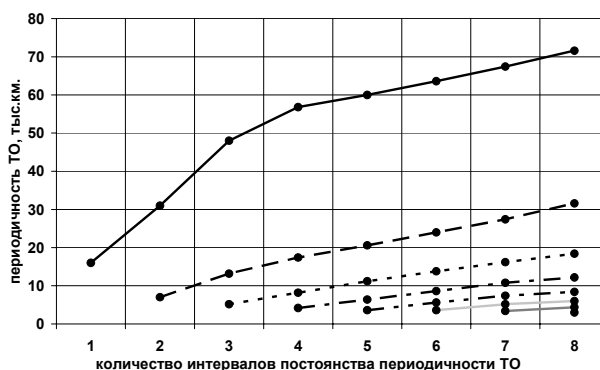


Рис. 5. Зависимость оптимальной периодичности ТО от количества интервалов

Для ОАО «Таксопарк» в качестве стратегии была принята система с четырьмя интервалами постоянства периодичности ТО по следующим причинам:

- увеличение количества интервалов постоянства периодичности приводит к незначительному снижению суммарных затрат;
- увеличение количества интервалов приводит к оптимизации периодичности на пробегах близких к списанию автомобиля;
- увеличение количества интервалов приводит к росту погрешности при расчете с учетом коэффициента кратности.

Разработанная методика является универсальной и может быть применена для оптимизации периодичности ТО различного вида подвижного состава автомобильного транспорта. На основе экономических показателей (суммарные и удельные затраты на проведение ТО), полученных для конкретного автомобиля или группы автомобилей, методика позволяет рассчитать пробег до списания. В настоящее время исследования проводятся в направлении оптимизации перечня и трудоемкости работ при проведении ТО с целью разработки технического регламента легковых автомобилей-такси.

#### Литература

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002. №184-ФЗ.
2. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. - М.: Транспорт, 1984.
3. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. - М.: Наука, 2001.
4. Ременцов, А.Н. Определение оптимальных режимов ТО и ТР автомобилей-такси / А.Н. Ременцов, А.Н. Живов / «Автотранспортное предприятие», 2005. - № 4. - С. 16 - 20.

Канд. техн. наук, доц. В.В. Жуков  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ТОЛЩИНЫ МДО-ПОКРЫТИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВС АВТОМОБИЛЕЙ

*Статья посвящена теоретическому обоснованию необходимой толщины МДО-покрытий с учетом эксплуатационной надежности деталей ДВС. Предложена математическая модель. Автором используются основные уравнения термодинамики. Установлено, что при максимальном напряжении в покрытии 188 МПа минимально-необходимая толщина покрытия должна быть 0,1 мм.*

В современных машинах и оборудовании все шире применяют детали из легких сплавов, обладающих большой относительной прочностью и технологичностью изготовления. Однако невысокая коррозионная стойкость нагруженных деталей снижает ресурс машин, в частности, автомобилей. Анализ их эксплуатации показывает, что около 50% отказов приходится на двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Одной из наиболее ответственных и ресурсообеспечивающих деталей ДВС является головка блока цилиндров (ГБЦ), т. к. от ее технического состояния зависит долговечность работы двигателя.

Агрессивные жидкости (тосол, антифриз, ионизированная вода), применяющиеся в системе охлаждения, приводят к значительным коррозионным разрушениям поверхностей деталей двигателя внутреннего сгорания.

Поэтому актуальными являются исследования, направленные на повышение коррозионной стойкости деталей ДВС автомобиля при их изготовлении или восстановлении. Одним из эффективных методов решения данной проблемы является формирование на поверхностях деталей защитных покрытий.

В последнее время широко применяются керамические покрытия, сформированные на деталях из алюминиевых сплавов способом микродугового оксидирования (МДО), обладающего рядом преимуществ по сравнению с традиционными технологиями.

При формировании МДО-покрытия на привалочной плоскости ГБЦ необходимо учитывать условия эксплуатации детали. При работе двигателя ГБЦ подвергается воздействию больших знакопеременных нагрузок и высоких температур. При этом термические напряжения в ней намного превышают механические [1]. Температура стенок камеры сгорания в нижней части достигает 350°C. Привалочная плоскость ГБЦ подвергается температурным изменениям, т. к. температура в рубашке охлаждения 90°C [1, 2].

Формируемое в процессе МДО покрытие по своим физико-механическим свойствам резко отличается от материала подложки. При повышении температуры в покрытии возникают термические напряжения, что связано с различием в термическом коэффициенте линейного расширения (ТКЛР) материалов покрытия и подложки. Вследствие этого из-за недостаточной толщины возможно растрескивание МДО-покрытия.

Для расчета необходимой толщины покрытия необходимо рассчитать действующие в покрытии напряжения. Для этого часть покрытия привалочной плоскости ГБЦ моделируем круглой пластиной постоянного сечения с отверстием (рис. 1), где диаметр отверстия – диаметр камеры сгорания, диаметр пластины – диаметр окружности, описывающий стенки камеры сгорания.



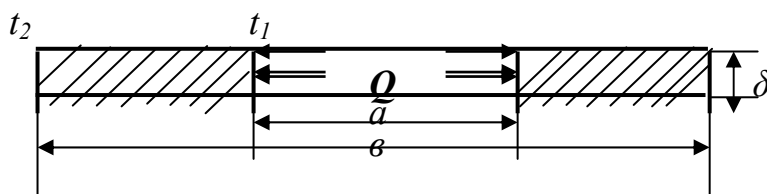


Рис. 1. Схема моделирования камеры сгорания в головке двигателя:  $a$  – диаметр камеры сгорания, м;  $e$  – диаметр окружности, описывающий стенки камеры сгорания, м;  $\delta$  – толщина покрытия, м;  $Q$  – тепловой поток в камере сгорания, Дж/с см;  $t_1, t_2$  – температура на внутренней и внешней стороне стенки камеры сгорания соответственно, °С

При определении напряжений и деформаций в неравномерно нагретой пластине используют уравнения равновесия, упругости и совместности:

1. Уравнение равновесия представляет собой условие равновесия элемента пластины, которое может быть записано в виде [3]:

$$\frac{d}{dr} \cdot \sigma_r + (\sigma_\theta - \sigma_r) \cdot \frac{1}{r} = 0, \quad (1)$$

где  $\sigma_r$  – нормальные напряжения в пластине, Па;

$\sigma_\theta$  – тангенсальные напряжения в пластине, Па;

$r$  – переменный радиус, м.

2. Уравнение совместности в напряжениях:

$$\frac{d}{dr} \cdot \left\{ r \cdot \left[ \frac{1}{E} \cdot (\sigma_\theta - \mu \cdot \sigma_r) + \alpha \cdot \Delta t \right] \right\} = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_r - \mu \sigma_\theta) + \alpha \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где  $E$  – модуль Юнга I-го рода, Па;

$\mu$  – коэффициент Пуассона покрытия;

$\alpha$  – коэффициент термического расширения материала покрытия, 1/°С;

$\Delta t$  – изменение температуры на данном радиусе диска  $r$ , °С.

3. Уравнения упругости:

$$\sigma_r = \sigma_{re} \cdot \frac{e^2}{e^2 - a^2} \cdot \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - \sigma_{ra} \cdot \frac{a^2}{e^2 - a^2} \cdot \left( 1 - \frac{e^2}{r^2} \right) + E \cdot \left[ \theta(e) \cdot \frac{e^2}{e^2 - a^2} \cdot \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - \theta(r) \right], \quad (3)$$

где  $\sigma_{re}, \sigma_{ra}$  – граничные условия в материале покрытия, определяемые по формулам:

$$\sigma_{ra} = \frac{E_n \cdot \varepsilon}{1 - \mu} = \frac{E_n \cdot (\alpha_o - \alpha_n) \cdot t_1}{1 - \mu}; \quad (4)$$

$$\sigma_{re} = \frac{E_n \cdot \varepsilon}{1 - \mu} = \frac{E_n \cdot (\alpha_o - \alpha_n) \cdot t_2}{1 - \mu}, \quad (5)$$

где  $E_n$  – модуль упругости покрытия;

$\varepsilon$  – деформация покрытия;

$\alpha_o, \alpha_n$  – коэффициент термического расширения материала основы и покрытия соответственно;

$\mu$  – коэффициент Пуассона покрытия;

$t_1, t_2$  – температура на поверхности привалочной плоскости ГБЦ в процессе эксплуатации на границах дна стенки камеры сгорания.

$$\sigma_\theta = \sigma_{re} \cdot \frac{e^2}{e^2 - a^2} \cdot \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - \sigma_{ra} \cdot \frac{a^2}{e^2 - a^2} \cdot \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) + E \cdot \left[ \theta(e) \cdot \frac{e^2}{e^2 - a^2} \cdot \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + \theta(r) - \alpha \cdot \Delta t \right], \quad (6)$$

где  $\theta(r) = \frac{1}{r^2} \cdot \int r \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot dr$ . (7)

Для определения напряжений необходимо знать распределение температуры в покрытии. При стационарном режиме, согласно закону Фурье [4], имеем:

$$\frac{dQ}{dr} = -2 \cdot \pi \cdot \delta \cdot \lambda \cdot \left( r \cdot \frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{dt}{dr} \right), \quad (8)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Дж/(с·см·°С);

$\delta$  – толщина покрытия, м.

Уравнение стационарного поля распределения температуры в покрытии [5]:

$$\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dt}{dr} - \frac{2 \cdot \alpha}{\delta \cdot \lambda} \cdot t = 0, \quad (9)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи покрытия, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Задавая численными значениями параметров, исходя из условия прочности, используя математический аппарат Mathcad, можно рассчитать распределение температуры и напряжений в покрытии.

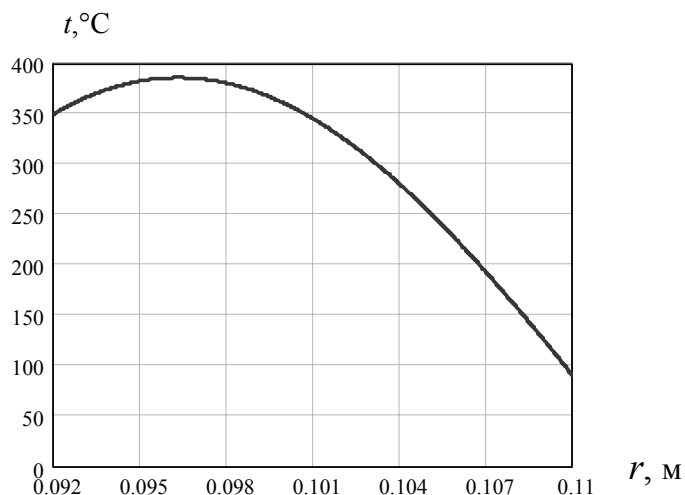


Рис. 2. Распределение температуры в покрытии по радиусу  $r$

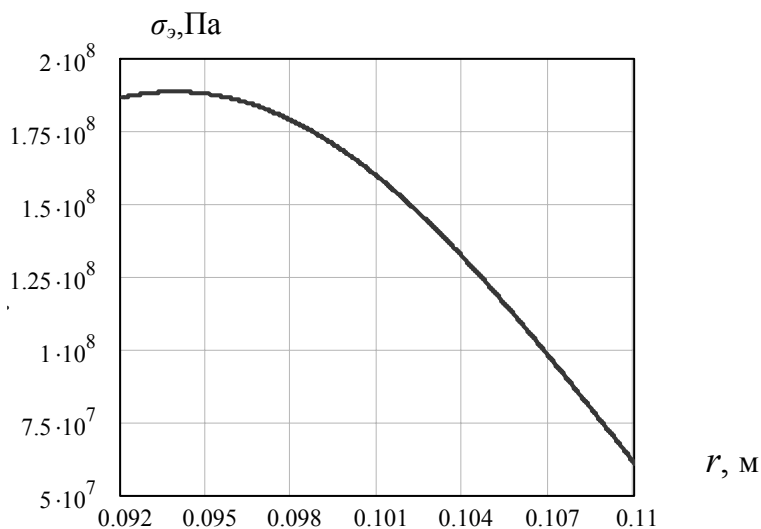


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в покрытии по радиусу  $r$

Исходя из полученного решения поставленной задачи с учетом всех допущений, которые были приняты в ходе решения, толщину покрытия найдем из условия прочности:

$$\sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_{\theta}^2} \leq [\sigma_p]. \quad (10)$$

Из результата расчета максимальное напряжение  $\sigma_{\text{экр}} = 188$  МПа, следовательно, коэффициент запаса прочности будет равен:

$$n = \frac{[\sigma_p]}{\sigma_{экв}} = \frac{260}{188} = 1,38.$$

Толщину покрытия найдем из выражения:

$$\delta = \frac{2 \cdot \alpha}{\lambda \cdot m^2} = \frac{2 \cdot 0,014}{26,7 \cdot 10^{-6} \cdot 1000^2} = 0,0001 \text{ м.}$$

Итак, в результате расчета, при максимальных напряжениях в покрытии  $\sigma_{экв} = 188$  МПа, его оптимальная толщина  $\delta = 0,1$  мм. При этом коэффициент запаса прочности  $n = 1,38$ , что гарантирует отсутствие трещинообразования в МДО-покрытии в процессе эксплуатации деталей ДВС.

#### Литература

1. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов - 3-е изд. перераб. и доп.-М.: Высшая школа, 2002. – 496 с.: ил.
2. Гурвич, И.Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей [Текст] / И.Б. Гурвич, П.Э. Сыркин, В.И.Чумак - 2-е изд., перераб. и доп- М.: Транспорт, 1994. - 144 с.
3. Техника высоких температур [Текст] / Под ред. И.Э. Кэмбелла. – М.: Изд. иностр. лит., 1989. – 468 с.
4. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев - 13-е изд., исправленное. – М.: Наука. Гл. ред. физ.- мат. лит., 1986. – 544 с.
5. Дарков, А.В. Сопротивление материалов [Текст]: учеб. для техн. вузов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1989. – 624 с.

*Докт. техн. наук, проф. А.Н. Новиков, канд. техн. наук, доц. В.В. Чикулаева, асп. А. М. Нахалов  
(Орловский государственный технический университет)*

*Россия, г. Орел, тел. (4862) 76-29-94; e-mail: srmostu@mail.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

*В последние годы в автотранспортном комплексе полностью разрушена система сбора, переработки и утилизации отработанных масел, что в первую очередь оказывает огромное негативное воздействие на окружающую среду. Уменьшить это влияние возможно с помощью внедрения на автотранспортные предприятия малогабаритных установок по очистке отработанных моторных масел.*

Объем отработанного моторного масла стремительно нарастает в последние годы. Причин несколько, главная – стремительное увеличение количества автомобилей. Если в середине 80-х гг. существовала служба сбора, утилизации и регенерации моторных масел, то в настоящее время такой службы нет. И теперь около половины отработанного моторного масла - это то масло, которое сливается в землю при самостоятельной смене масла. Проблема глобальная: более половины нефтяных загрязнений окружающей среды приходится на отработанные масла и смазочные материалы. По данным ФГУП НИИАТ от автотранспортных предприятий в водные объекты РФ в 2000 г. поступило 2,5 тыс. т нефтепродуктов [1].

Попадание нефтепродуктов в воду и почву приводит к долговременному загрязнению окружающей природной среды в связи с низкой скоростью биологического разложения этого вида отходов. Период биологического разложения нефтепродуктов существенно увеличивается с ростом их молекулярной массы и сложностью структуры и для некоторых компонентов отработанных моторных масел составляет сотни лет.

Основное влияние нефтепродуктов на почвенно-растительный покров сводится к снижению биологической продуктивности почвы и фитомассы растительного покрова. При разливе нефти в количестве 12 л/м<sup>2</sup> фитомасса наземной части растений через 3 года уменьшилась на 74%, а при разливе 25 л/м<sup>2</sup> – на 90% за один год [2].

По данным статистики загрязнение от автотранспорта только отработанными маслами составляет 9,8% от всех источников загрязнений гидросферы нефтью, что в 7,5 раза больше, чем при добыче нефти в открытом море [3].

В последние годы появляются различные установки для переработки отработанного масла: стационарные, передвижные для удобства сбора в гаражных кооперативах, на крупных стоянках, на автомагистралях, но в России пока только крупные предприятия организуют у себя сбор и переработку отработанных смазочных материалов.

А между тем области применения продуктов переработки отработанных моторных масел довольно обширны (рис. 1). Их можно использовать как топливо в энергетических установках, как добавки в сырьевую смесь при коксовании угля; при получении твердого топлива; в агрегатах трансмиссии. Кроме того, продукты переработки отработанных масел применяются при изготовлении пластичных смазок и получении изоляционных материалов; при приготовлении асфальтов и битума, а также при строительстве дорог.

Если моторное масло очистить от механических загрязнений, воды и легких фракций непосредственно на предприятии, то можно его повторно использовать в машинах и технологических процессах с менее жесткими требованиями к качеству масла. Это возможно лишь при наличии на предприятии малогабаритных установок по очистке масел.

Разработана установка, предназначенная для удаления из масел механических примесей, воды и топливных фракций.

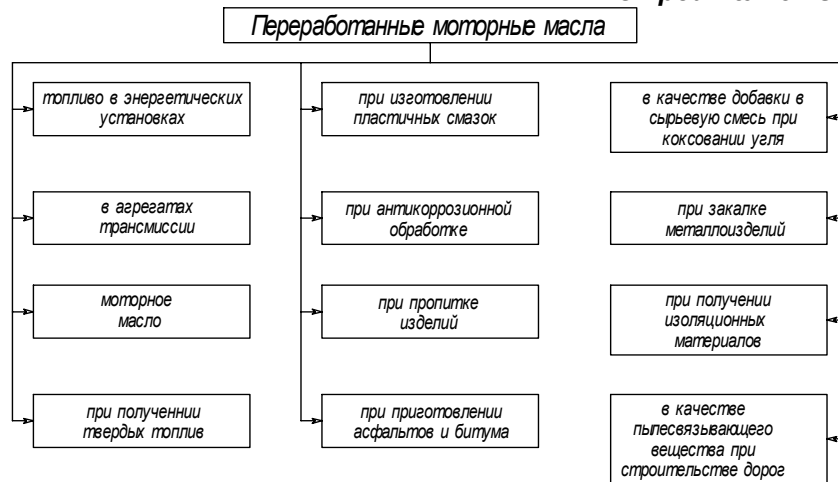


Рис. 1. Область применения продуктов переработки отработанных масел

Установка включает в себя следующие основные элементы: баки для отработанного и очищенного масла, теплоэлектронагреватель, конденсатосборник, вытяжной вентилятор, преобразователь частоты, шестеренчатый насос с электродвигателем, муфта, маслоочистительная центрифуга, два микрофилтра, соединительные патрубки.

Исследование процесса удаления загрязнений из масла (рис. 2) показало, что при очистке масла на установке содержание нерастворимого осадка снижается в несколько раз.

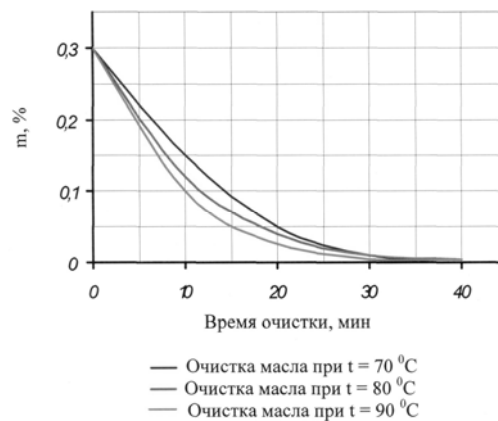


Рис. 2. Изменение количества механических примесей в очищаемом масле

Исследования изменения щелочности масла (рис. 3) показали незначительное уменьшение на 10 ... 15% щелочного числа в процессе очистки.

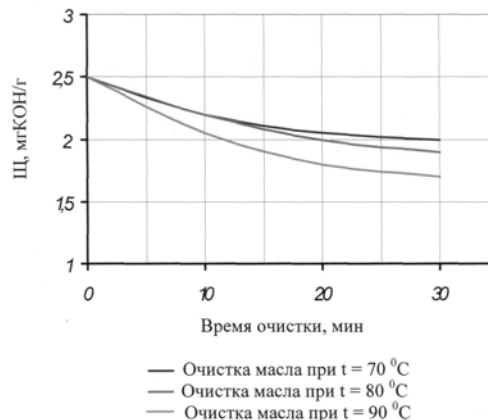


Рис. 3. Изменение щелочного числа очищаемого масла

За время очистки вязкость масла уменьшается на 15 ... 20 % (рис. 4).

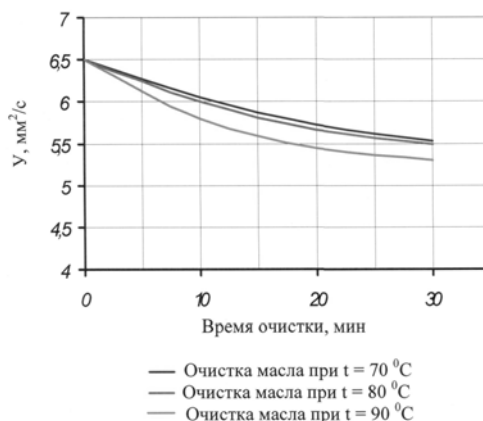


Рис. 4. Изменение вязкости масла в процессе его очистки

Исследование процесса обезвоживания масла (рис. 5) показало, что интенсивность снижения содержания воды в масле повышается с увеличением температуры очищаемого масла. Так при начальной концентрации воды в масле 1,1% и температуре масла 70 °С время удаления воды составляет 60 мин., при 80 °С - 53 мин.; при 90 °С - 45 мин., при 100 °С – 41 мин.

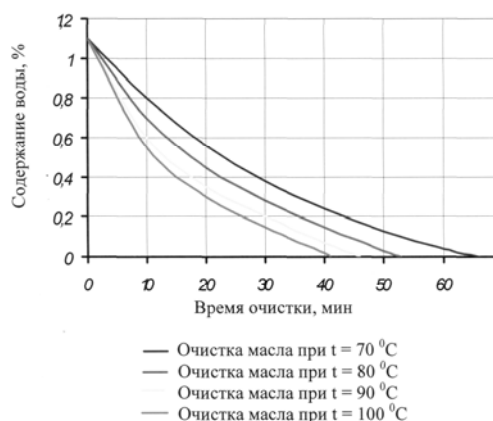


Рис. 5. Содержание воды в масле в процессе его очистки

Данные проведенных исследований показывают, что с помощью несложных установок возможно очищение отработанных моторных масел в местах их сбора. В дальнейшем предприятие решает, как поступить с очищенным отработанным маслом: использовать на нужды предприятия, сдать в пункты переработки нефтепродуктов или довести технические характеристики отработанного масла до уровня свежего при максимально возможном удалении экологически опасных соединений.

#### Литература

1. Воздействие транспортного комплекса Российской Федерации на состояние окружающей среды и здоровье населения. Аналитический доклад, издательство НПСТ "ТРАНСКОНСАЛТИНГ". – М., 2002. – 68 с.
2. Пирогов, С.В. Экологическая безопасность применения нефтепродуктов в сельскохозяйственном производстве [Текст] / С.В. Пирогов, А.П. Лапин, А.Н. Бобков, Б.М. Тюриков, М.Д. Мононов. - Брянск, 2003. – 592 с.
3. Парахин, Ю.А. Проблемы очистки ливневых и производственных сточных вод от объектов АТК региона [Текст]. В кн.: Проблемы обеспечения экологической безопасности автотранспортного комплекса: Сб. научных статей. - Орел, 2004. – 88 с.

*Асп. О.А. Сычугов*

*(Саратовский государственный технический университет)  
Россия, г. Саратов*

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РИСКА**

Одним из исходных требований как при проектировании новых дорог, так и при составлении проекта реконструкции дорог является надежность оценки пропускной способности её отдельных участков или дороги в целом. Очевидно, что несоответствие результатов теоретического определения пропускной способности на стадии проектирования дорог и фактической пропускной способности в реальных условиях движения приведет к неточному определению скоростей движения, требуемого количества полос проезжей части и, следовательно, к ошибкам технико-экономического обоснования проектных решений как в случае занижения, так и завышения пропускной способности. В первом случае (при занижении пропускной способности) математическая модель транспортного потока будет занижать скорости движения, что приведет к завышению автотранспортных затрат за счет увеличения времени сообщения (простоя транспортных средств в заторах) и увеличения количества ДТП (самым распространенным видом дорожно-транспортного происшествия в плотном транспортном потоке является наезд на впереди идущий автомобиль). Проектировщик в этом случае может необоснованно увеличить число полос движения, что приведет к увеличению стоимости проекта. Во втором случае (при завышении пропускной способности) определяемая по математической модели скорость транспортного потока необоснованно увеличится, коэффициент загрузки – уменьшится, что может привести к необоснованному уменьшению числа полос движения и, следовательно, к ошибочному занижению требуемой стоимости строительства.

Важность точного определения теоретической величины пропускной способности обуславливает многообразие существующих методов решения данной проблемы, которые отражены в работе профессора В.В. Сильянова [1].

Следует отметить также наличие многообразия методик определения скорости транспортного потока и величины скорости свободного движения, результаты расчетов по которым имеют значительный разброс определяемого параметра [1]. Причинами таких расхождений являются сложность решения вопроса о скоростях движения и большое количество влияющих факторов. В ряде расчетных формул присутствует допущение, предполагающее, что автомобили движутся по дороге с полным открытием дроссельной заслонки. Такое допущение завышает результат оценки пропускной способности. Режимы движения автомобилей на дороге зависят от психофизиологических характеристик водителей, а также от дорожных условий, которые проявляются по-разному у водителей с различным типом личности. Многие методы расчета скорости движения не позволяют учесть особенностей психологического восприятия водителями дорожных условий, влияющих на избираемый ими режим движения, при котором, как правило, не используются все динамические возможности автомобиля. В расчетных формулах психофизиология водителя учтена только в виде времени его реакции.

Во многих формулах одним из входных параметров является скорость свободного движения. Однако следует учесть тот факт, что под влиянием психофизиологии водителей и их состояния скорость свободного движения автомобилей неодинакова даже при движении одной и той же марки автомобиля на одном и том же участке дороги. Это объясняется тем, что каждый водитель выбирает скорость свободного движения в зависимости от динамических характеристик своего автомобиля и от риска, который он сознательно допускает при движении по данному участку дороги.

Кроме того, некоторые участки автомобильных дорог позволяют развивать скорость свободного движения выше, чем могут позволить динамические характеристики автомобилей. За последние 15 лет обстановка на автомобильных дорогах резко изменилась: произошло увеличение количества легковых, легких и тяжелых грузовых автомобилей как российского, так и иностранного

производства (за счет снижения количества средних грузовых автомобилей) в составе транспортного потока с улучшенными динамическими характеристиками. Все это повлияло на изменение средней скорости свободного движения на автомобильных дорогах при любом составе транспортного потока. В связи с этим необходимо проведение большого числа экспериментов по определению коэффициентов, связанных с состоянием транспортного потока.

В связи с этим был разработан ряд математических моделей, описывающих характеристики транспортного потока в режиме пропускной способности, в которых в той или иной степени учтена вероятностная сущность движения потока автомобилей. Также были проведены натурные исследования, направленные на проверку соответствия результатов расчетов по данным математическим моделям реальным значениям пропускной способности, скорости свободного движения и в режиме плотного транспортного потока. Полное описание всех разработанных нами теоретических моделей и их сравнение отражено в работах [2 - 4, 7].

На основании вышеизложенного предлагается определение скорости свободного движения по величине допускаемого водителями риска разезда автомобилей при встречном движении по следующей методике.

Среднее квадратическое отклонение минимальной ширины покрытия ( $\sigma_m$ ) можно представить в виде [5]:

$$\sigma_m^2 = K - \frac{2KD_2V_2}{720U} + \left(\frac{D_1V_1}{720U}\right)^2 - \sigma_B^2, \quad (1)$$

где

$$K = \frac{A}{U} - \frac{D_2V_2}{720U}; \quad (2)$$

$$A = B - \frac{a_1 + c_1}{2} - \frac{a_2 + c_2}{2}. \quad (3)$$

Здесь  $D_1, D_2$  – длины транспортных средств, м;  $V_1, V_2$  – скорости движения встречных автомобилей, км/ч;  $a_1, c_1$  – ширина и колея автомобиля, движущегося в прямом направлении, м;  $a_2, c_2$  – ширина и колея автомобиля, движущегося во встречном направлении, м;  $U$  – подынтегральная функция, которая принимает определенные значения в зависимости от величины допускаемого водителями риска;  $\sigma_B$  – среднее квадратическое отклонение ширины покрытия, м.

С другой стороны [5]

$$\sigma_m^2 = \left(\frac{D_1V_1}{2160}\right)^2 + \left(\frac{D_2V_2}{2160}\right)^2. \quad (4)$$

Приравнивая правые части уравнений (1) и (4), получаем формулу для установления скорости свободного движения на покрытии с заданной шириной ( $B$ ) в зависимости от величины допускаемого риска:

$$V_1 = \frac{-\frac{K}{U} + \sqrt{\left(\frac{K}{U}\right)^2 - \left(\frac{U^2 - 9}{9U^2}\right)H}}{\frac{D_1}{720} \left(\frac{U^2 - 9}{9U^2}\right)}, \quad (5)$$

где

$$H = \left(\frac{D_2V_2}{2160}\right)^2 - K^2 + \sigma_B^2. \quad (6)$$

Задавая скоростью движения автомобиля  $V_2$  в формуле (2), получаем возможную скорость движения встречного автомобиля  $V_1$  по формуле (5) при заданном риске из условия разезда автомобилей встречного движения. При этом необходимо выполнение условия  $V_2=V_1=V$ , где  $V$  – скорость свободного движения на данном участке дороги при заданной величине риска. Появление под корнем в формуле (5) отрицательного знака означает, что разезд автомобилей с назначенными скоростями  $V_2=V_1=V$  при принятом риске невозможен.

Средневзвешенную скорость движения легкового автомобиля определяем по формуле:



$$V_{св}^{л} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^{л} C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}, \quad (7)$$

где  $V_i^{л}$  – скорость разезда легкового автомобиля с транспортным средством  $i$ -го типа, км/ч;  $C_i$  – количество автомобилей  $i$ -ого типа в составе транспортного потока, %;  $\sum_{i=1}^n C_i = 100\%$ .

Таким образом, по формуле (5) рассчитываем скорости разезда легкового автомобиля с легкими, средними, тяжелыми грузовыми транспортными средствами, автопоездами и автобусами. Затем по зависимости (7) определяем средневзвешенную скорость легкового автомобиля  $V_{св}^{л}$  с учетом заданного состава движения.

По выражению, аналогичному формуле (7), выполняем оценку средневзвешенных скоростей движения всех типов транспортных средств. Например, для вычисления (оценки) скорости свободного движения легких грузовых автомобилей имеем:

$$V_{св}^{лг} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^{лг} C_i}{100}, \quad (8)$$

где  $V_i^{лг}$  – скорость разезда легкого грузового автомобиля с транспортным средством  $i$ -го типа, км/ч.

Средневзвешенную скорость свободного движения при заданной величине риска определяем по формуле:

$$V_{св}^i = \frac{\sum_{i=1}^n V_{св}^i C_i}{100}, \quad (9)$$

где  $V_{св}^i$  – средневзвешенная скорость транспортных средств  $i$ -го типа, км/ч.

Пропускную способность полосы движения в зависимости от риска, допускаемого водителями, предлагается устанавливать по формуле 6:

$$P = v_p \cdot q_p, \quad (10)$$

где  $q_p$  – плотность транспортного потока в режиме пропускной способности, авт./км.

Скорость транспортного потока в режиме пропускной способности в данном методе определяется по зависимости:

$$V_p = (0,5 \div 0,55) \cdot V_{св}. \quad (11)$$

Плотность транспортного потока в режиме пропускной способности предлагается определять через риск наезда на впереди идущий автомобиль.

Риск, допускаемый водителями, выражен в данной методике через интервал по длине между движущимися автомобилями  $l_i$  и определяется выражением [6].

$$l_i = S_2 - S_1 + U \cdot \sqrt{\sigma_{S_1}^2 + \sigma_{S_2}^2}, \quad (12)$$

где  $S_1, S_2$  – остановочные пути автомобилей, м;  $\sigma_1, \sigma_2$  – средние квадратические отклонения остановочных путей впереди идущего и следующего за ним автомобилей соответственно, м.

Параметры формулы (12) устанавливают по следующим выражениям:

$$S_i = \frac{V_p \cdot t_p}{3,6} + \frac{k \cdot V_p^2}{254 \cdot (\varphi \pm i + f)}, \quad (13)$$

где  $t_p$  – время реакции водителя, с;  $k$  – коэффициент эксплуатационного состояния тормозов;  $\varphi$  – коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $i$  – продольный уклон дороги, тысячные;

$$\sigma_{S_i} = \sqrt{\left[ \frac{t_p}{3,6} + \frac{k \cdot V_p}{127 \cdot (\varphi \pm i + f)} \right]^2 \cdot \sigma_V^2 + \left[ \frac{k \cdot V_p^2}{254 \cdot (\varphi \pm i + f)^2} \right]^2 \cdot \sigma_\varphi^2 + \left[ \frac{V_p}{3,6} \right]^2 \cdot \sigma_{t_p}^2}, \quad (14)$$

где  $\sigma_V$  – среднее квадратическое отклонение скорости движения, км/ч;  $\sigma_\varphi$  – среднее квадратическое отклонение коэффициента сцепления;  $\sigma_{t_p}$  – среднее квадратическое отклонение времени реакции водителя, с:

$$\sigma_V = 0,05 \cdot V_p + 0,5; \quad (15)$$

$$\sigma_\varphi = 10 \cdot \varphi \cdot (1 - \varphi^2) \cdot \left( \frac{V_p + 5}{V_p^2} \right). \quad (16)$$

Среднюю плотность транспортного потока в режиме пропускной способности определяют по формуле:

$$q_p = \frac{3600}{V_p \cdot \left( \delta t_p + \frac{3,6 \cdot l_a}{V_p} \right)}, \quad (17)$$

где  $\delta t_p$  – интервал во времени между движущимися автомобилями в режиме пропускной способности, с;  $l_a$  – средневзвешенная длина автомобилей, зависящая от состава движения, м.

Входные параметры выражения (18) определяют по зависимостям:

$$\delta t_p = \frac{3,6 \cdot l_i}{V_p}; \quad (18)$$

$$l_a = \frac{l_n \cdot \sum_1^n C_i \cdot E_i}{100}, \quad (19)$$

где  $l_n$  – средняя длина легковых автомобилей, м;  $E_i$  – коэффициент приведения к легковому автомобилю.

При оценке пропускной способности автомобильных дорог возникает необходимость приведения смешанного потока к однородному (как правило, состоящему только из легковых автомобилей). Для определения коэффициентов приведения различных типов транспортных средств к легковым автомобилям применяются следующие методологические подходы:

1. анализ дистанций и интервалов во времени между движущимися автомобилями различных типов в сопоставлении с дистанциями и интервалами между легковыми автомобилями;
2. анализ зависимости «интенсивность-скорость» для различных потоков автомобилей в сопоставлении с аналогичной зависимостью для однородного потока легковых автомобилей;
3. анализ пропускной способности при различном составе транспортного потока по сравнению с пропускной способностью потока, состоящего только из легковых автомобилей;
4. анализ плотности движения потоков различного состава в сравнении с плотностью потока легковых автомобилей;
5. анализ интенсивности движения при различном составе транспортного потока, при котором наблюдается максимальное число обгонов в сравнении с интенсивностью движения потока легковых автомобилей, при котором также наблюдается максимальное число обгонов.

Анализ коэффициентов приведения показал, что их величина зависит от большого числа факторов, основными из которых являются скорость и состав движения. Установлено, что чем выше скорость, тем больше значения коэффициентов приведения [1]. Профессор В.В. Столяров отметил, что невозможно получить одинаковые коэффициенты приведения для однотипных транспортных средств, если скорости движения в различных методологических подходах различаются [5].

Несмотря на нестабильность коэффициентов приведения при определении их различными методами и трудность получения надежных расчетных зависимостей для определения данных коэффициентов, они и в настоящее время применяются при расчетах пропускной способности автомобильных дорог.

В методике (1) – (19) влияние коэффициентов приведения сведено к минимуму, таким образом, разброс их значений не оказывает существенного влияния на определение пропускной способности. Состав транспортного потока учитывается при определении средневзвешенной скорости свободного движения (9) через количество автомобилей  $i$ -ого типа ( $C_i$ ), выраженное в процентном отношении.

Данная математическая модель в наибольшей степени учитывает вероятностную сущность движения автомобилей в плотном транспортном потоке и учитывает психофизиологию водителей посредством риска, допускаемого ими в процессе движения, а также дает результаты, наиболее приближенные к данным натурных наблюдений [7].

#### Литература

1. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения [Текст] / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 294 с.
2. Сычугов, О.А. Учет психофизиологии водителя в оценке пропускной способности автомобильной дороги [Текст] / Повышение эффективности эксплуатации транспорта: межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 2003. – С. 204 – 209.
3. Сычугов О. А. Оценка пропускной способности автомобильной дороги с учетом риска, допускаемого водителями [Текст] / Повышение эффективности эксплуатации транспорта: межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 2004. -С. 120 – 126.
4. Сычугов, О.А. Методы определения скорости свободного движения и скорости потока автомобилей в режиме пропускной способности [Текст] / Проблемы транспорта и транспортного строительства: межвуз. науч. сб., ч. 1 – Саратов: СГТУ, 2005. - С. 58 – 65.
5. Столяров, В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: ч. 1, 2 [Текст] / Саратов: СГТУ, 1994.
6. Столяров В.В. Дорожные условия и организация движения с использованием теории риска [Текст]: учеб. пособие / Сарат. гос. техн. ун-т. Саратов, 1999. - 168 с.
7. Сычугов, О. А. Экспериментальные исследования по оценке пропускной способности участка дороги Саратов – Балашов [Текст] / Проблемы транспорта и транспортного строительства: межвуз. науч. сб., ч. 2 – Саратов: СГТУ, 2005. - С. 137 – 144.

Ассистент А.Н. Тихомиров, канд. техн. наук, проф. В.И. Микрин  
(Брянская государственная инженерно-технологическая академия)  
Россия, г. Брянск, тел. (4832) 41-98-77; e-mail: bgita-ad@yandex.ru

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

*Описывается методика и результаты эксперимента по оценке взаимодействия транспортных потоков и транспортной сети населенных пунктов. Выявлен ряд факторов, влияющих на расход топлива транспортным потоком. Предлагаемая система расчета и разработанные инструменты контроля транспортной сети позволяют оптимизировать движение с учетом всех элементов сети, транспортных средств и пешеходов на транспортных узлах и участках дорог.*

*The experimental technique and results on the estimation of the interaction between the traffic flow and road network of settlements are begin described. A number of factors affecting traffic fuel consumption have been brought out. An offered system of analysis and developed instruments for the road network control allow to get traffic flow optimization taking into account all elements of the network, transport facilities and pedestrians at road junctions and sections.*

Большое влияние на окружающие город территории и городскую среду оказывают транспортные потоки и, в частности, их организация. Существующие методы прогнозирования уровня загрязнения воздуха вредными веществами в виде оценки максимально-разовых или среднесуточных концентраций примесей основаны на том, что автотранспорт рассматривается как площадной источник загрязнения, равномерно распределенный по площади территории [1, 2]. Данный подход не может достаточно корректно описывать выбросы вредных веществ на отдельных участках транспортной сети. Как показали наши эксперименты, экологическое загрязнение распределено неравномерно не только в различных частях города, но и на отдельных элементах улично-дорожной сети.

Большинство современных подходов к решению проблем экономичности движения транспортных средств и экологической безопасности характеризуются смещением акцента на макроуровень, когда анализируются динамические и энерго-экологические характеристики не отдельного автомобиля, а автотранспортного потока [3, 4].

Работа двигателя автомобиля, а значит и расход топлива, зависит от ряда факторов. Различия в настройках двигателя, трансмиссии транспортных средств значительно усложняют исследования расхода топлива двигателем на определенном участке.

Для решения этой проблемы был разработан автомобильный компьютерный комплекс, включающий в себя систему датчиков, компьютер, монитор и мобильное распечатывающее устройство, подключаемое напрямую к узлам диагностики транспортного средства и способное в реальном времени выводить параметры движения.

Кроме учета работы двигателя необходимо провести оценку существующих моделей транспортного потока [5].

Модель, на которой была построена примененная нами методика, строилась на выделении из улично-дорожной сети города набора однотипных по общим характеристикам элементов, являющихся основными и связующими. Для их описания использовали:

1. Блок участка дороги или перегон. Движение транспортных средств на этом участке проходит без остановок со скоростью  $V_{cp}$ . Скорость зависит от интенсивности на участке. Расход топлива зависит от фазы движения потока и скорости движения в этой фазе. Для анализа и моделирования динамики транспортного потока на этом элементе была принята модель следования за лидером.

2. Блок с поворотным движением или блок с ограниченным движением. Этот блок характеризуется снижением скорости движения и возможным возникновением задержки движения при выполнении маневра. В зависимости от величины угла поворота определяющим фактором становится скорость потока.

3. Узел или блок с преградой движения. Узел определяется наличием остановки транспортного средства перед преградой. Преграду может составлять светофор, нерегулируемый перекресток, пешеходный переход.

4. Блок остановки или приемник транспортных средств. Узел описывает стоянки транспортных средств во время прогрева двигателя, задержки во время парковки или разгрузки транспортного средства.

Анализ моделей свидетельствует о том, что:

1. Скорость движения автомобилей с интенсивностью меньшей нормативной не зависит от соседних автомобилей и ограничивается только правилами дорожного движения. В фазе свободного движения габариты транспортных средств не влияют на зависимость интенсивности от плотности потока.

2. При увеличении интенсивности движения поток переходит в фазу «Синхронизированного потока». Фаза характеризуется потерей водителями возможности свободно маневрировать и скорости транспортных средств со скоростью потока. Для фазы синхронизированного потока характерна возможность установления максимальной пропускной способности дороги.

3. В городских условиях при наличии большого количества регулируемых и нерегулируемых пересечений может наблюдаться фаза «широких перемещающихся пробок». Эта фаза характерна для транспортной сети, имеющей короткие пробеговые участки между узлами транспортной сети.

4. При сокращении расстояния между транспортными средствами наступает фаза потока «Старт-Стоп движение». При большом скоплении автомобилей движение потока приобретает прерывистый характер. На этой стадии транспортный поток можно уподобить потоку замерзающей воды, автомобиль становится на какой-то промежуток времени как бы «приклеенным» к данной точке дороги. Эта фаза характеризуется низкой средней скоростью движения.

Для проведения испытаний были выбраны 3 участка дороги в черте г. Брянска с 2-х, 3-х, 4-х полосным движением, длиной 2 км без затяжных продольных уклонов более 10%. Испытания проводились в двух направлениях поочередно. На каждом участке было проведено 3 заезда для каждого эксперимента.

По результатам испытаний построен график, и определено уравнение регрессии с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,879$  (рис. 1).

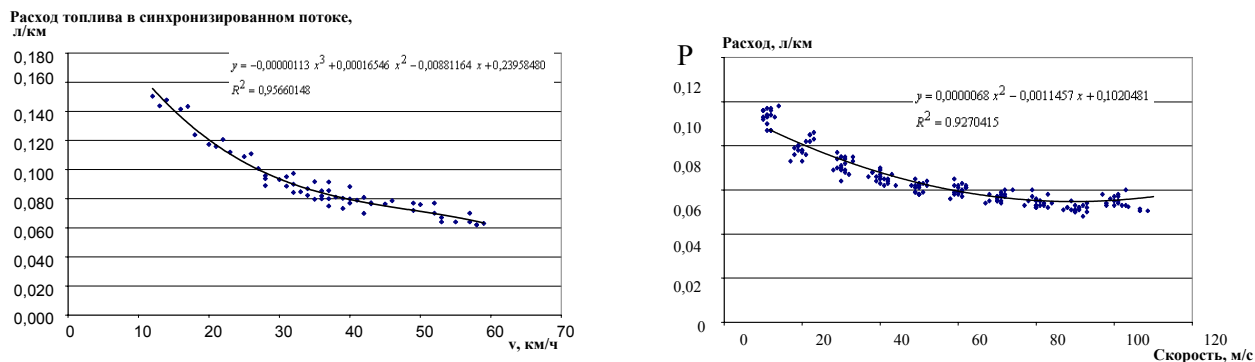


Рис. 1. Модель расхода топлива на участке движения в фазе «Свободного потока» и на участке в фазе «синхронизированного движения»

Полученные результаты в целом подтверждают теоретические данные.

1. Пока автомобиль движется совсем медленно (15-20 км/ч), его движению по ровной дороге препятствует только сопротивление качению колес. Это сопротивление обусловлено главным образом деформацией шины и дороги. Поэтому при низких скоростях имеют место высокие уровни расхода топлива.

2. С ростом скорости пропорционально ее квадрату увеличивается и воздушное сопротивление движению, расход бензина на преодоление этого сопротивления, как и требуемая мощность, увеличивается пропорционально кубу скорости. При скорости 50 км/ч для автомобиля без багажника на крыше сопротивление воздуха не превышает 20% общего сопротивления движению.

3. В реальных условиях на автомобильной дороге на автомобиль воздействуют различные факторы: продольный профиль дороги, поперечный профиль, ветер, что вносит определенную погрешность в замеры.

Движение транспортного средства в фазах, отличных от фазы свободного движения, характеризуется зависимостью скорости движения транспортного средства от впереди идущих участников транспортных средств. В синхронизированном потоке имеет место частое изменение скорости и большое количество торможений и разгонов с большой величиной изменения скорости.

По результатам всех испытаний был построен обобщающий график, и получено уравнение регрессии (рис. 2).

Различия в расходе топлива для аналогичных скоростей равномерного движения объясняются в первую очередь различиями в динамике движения транспортного средства.

При равномерном движении автомобиль значительно меньше производит резкие торможения и разгоны по сравнению с синхронизированным потоком. Для наглядного выражения этого предположения данные для одного участка и различных фаз потока были проанализированы и оформлены в виде графика.

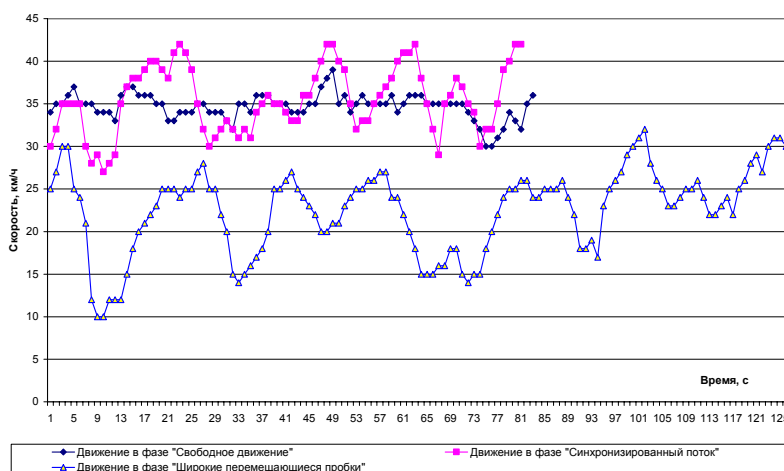


Рис. 2. Динамика движения в различных фазах потока на участке ул. Дуки, ул. Вали Сафроновой, ул. Бондаренко

На графике приведены 3 фазы движения со следующими средними скоростями: 34,7 км/ч, 35,4 км/ч и 22,6 км/ч.

Анализ графика позволяет сделать следующие выводы:

1. Динамика движения в фазе равномерного движения имеет большую частоту по сравнению с остальными фазами движения.
2. Частота динамики движения уменьшается с возрастанием плотности движения и уменьшением скорости движения.
3. Амплитуда колебания растет обратно пропорционально плотности движения.

Движение в потоке является процессом более сложным, чем движение в свободном потоке, о чем свидетельствует и полученная функция, математически описывающая зависимость «расход топлива – скорость движения». Полином функции, описывающий движение в потоке равен третьей степени, а полином функции движения в свободном потоке – второй степени.

По полученным зависимостям возможно определить расход топлива автомобилем в зависимости от скорости движения и фазы движения.

Наличие транспортного узла в городе приводит к нарушению ординарности транспортного потока, что необходимо учитывать при исследовании механизма формирования общего расхода топлива транспортного средства.

Для анализа и построения модели использовались стохастические модели. Проведенная оценка на блоке с преградой движения позволила выявить, что расход топлива на транспортном узле будет зависеть от ряда факторов:

- Количество остановок и разгонов транспортного средства перед преградой. Расход топлива зависит от средней скорости движения на участке до преграды и после преграды.

- Расход топлива при работе двигателя во время стоянки и на холостом ходу – определяется величиной задержки на узле.

- Расходом топлива при движении с постоянной скоростью в черте рассматриваемого узла.

Согласно экспериментам и расчетам расстояние свободного равномерного движения рекомендуется брать в среднем равным 100 м.

Расход топлива на нерегулируемых перекрестках можно описать исходя из следующих факторов:

Расход автомобиля на замедление до остановки и разгон до средней скорости потока и задержка на перекрестке.

Расход топлива на перекрестке можно определить по формуле:

$$Q = n \cdot q_{stop} + \Delta T \cdot q_{idle} + S \cdot q_v, \quad (1)$$

где  $n$  – количество остановок на транспортном узле;

$q_{stop}$  – расход во время ускорения/замедления автомобиля, л/остановку л/с;

$\Delta T$  – время полной стоянки автомобиля, с;

$q_{idle}$  – расход топлива на холостом режиме работы двигателя, (по результатам испытания 1,05 л/час) л/с;

$S$  – размер транспортного узла, с учетом транспортных средств, м;

$q_v$  – расход топлива при движении равномерно со средней скоростью потока, определяется из уравнения свободного движения, л/км.

Расход топлива при свободном движении на перекрестке определяется исходя из уравнения, полученного по результатам испытания движения автомобиля в «синхронизированном потоке».

Проведенное исследование показывает необходимость проведения отдельного расчета расхода топлива транспортного средства на перекрестке. Проведенные эксперименты позволяют установить зависимость «расход топлива - конечная скорость разгона» для транспортного средства, что позволяет с достаточной точностью установить расход на всем перекрестке, в зависимости от интенсивности потока, цикла регулирования и полос движения транспортного узла.

Исследования на каждом из выделенных элементов позволили проработать методику, позволяющую анализировать динамику транспортных потоков и принимать решения по распределению и управлению транспортными потоками.

Для проведения исследования на каждом из выделенных участков или блоках движения были проведены исследования по существующим методикам оценки экологичности и экономичности движения. Проведенные изыскания позволили провести исследование взаимосвязи динамики транспортных потоков с привязкой к реальной улично-дорожной сети с помощью современных измерительно-информационных приборов.

Таким образом, при реализации данного измерительного комплекса осуществляется возможность проведения исследования динамических характеристик технической системы «Участок дорожной сети - динамические характеристики автомобиля» с необходимой точностью при постоянном контроле работы систем автомобиля, что позволяет избегать ошибочных и неточных показателей.

Разработанная на основании рассмотренной системы и измерительного комплекса методика позволяет дать оценку взаимодействия транспортных потоков и транспортной сети с целью принятия решений по перераспределению транспортных потоков или при проведении оценки эффективности реконструкции УДС.

Применение методики, в которой учтены выявленные связи и закономерности динамики транспортного потока и внешних факторов, способно повысить экономичность и безопасность эксплуатации транспортных сооружений. Выделение отдельных элементов улично-дорожной сети позволяет наиболее достоверно оценить нагрузки транспортных потоков в населенном пункте, выявить наиболее загруженные участки и распределить потоки более равномерно по улично-дорожной сети города.

Апробация методики проходила в условиях УДС Советского района г. Брянска. УДС Советского района была поделена на отдельные элементы. Произведенные расчеты позволили не только

определить ряд элементов со сложной ситуацией, но и произвести экспертную оценку по распределению транспортных потоков более равномерно по УДС путем оптимизации работы системы управления движением, информировании участников движения о загруженности на альтернативных участках движения.

Произведенная оценка позволила выявить критические элементы реальной УДС не только в настоящий момент, но и с учетом прироста движения транспортных средств. Была проведена оценка ситуации и предложена реконструкция УДС путем проведения ремонтных работ на отдельных участках, реконструкции некоторых элементов, а также рассмотрена возможность введения новых элементов УДС. Данные расчеты позволили просчитать эффективность проведения реконструкции и дать определенные рекомендации.

Внедрение данной методики, вместе с инструментами реализации способно нормализовать взаимодействие транспортных потоков с улично-дорожной сетью путем формирования в реальном времени, в прямой зависимости от дорожной обстановки, циклов светофорной сигнализации в автоматизированном режиме.

Так, к инструментам реализации необходимо отнести GSM-систему взаимодействия центрального пункта управления с отдельными транспортными узлами. Центральный пункт на основании реальных данных по загрузке транспортной сети, наличия в данный промежуток времени пешеходов, проводит подбор оптимальных величин цикла работы сигнализации на транспортном узле, формируя приоритет движения в наиболее загруженном направлении. Главное достоинство данной системы заключается в том, что система способна функционировать полностью в автономном режиме на любой стадии работы, начиная от оценки транспортного потока до изменения цикла сигнализации.

Кроме того, анализ и расчет параметров проводится не для отдельного транспортного узла, а для всей улично-дорожной сети, что позволяет подбирать не частные параметры для отдельного узла, а для всей учитываемой сети.

Полученная система расчета, а так же разработанные инструменты контроля транспортной сети в целом, позволяют производить оптимизацию движения не на отдельном участке или элементе транспортной сети, а с учетом всех элементов, с возможностью предотвращения возникновения проблемных участков движения на всех узлах улично-дорожной сети с учетом не только транспортных средств, но и с учетом количества пешеходов на транспортных узлах и участках автомобильных дорог.

#### Литература

1. Teply S. Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections / S. Teply, D. Allingham, B. Stephenson // Institute of transportation Engineers. - Canada, 1995. – 115 p.
2. Webster F.V. Traffic Signals /F.V. Webster, B.M. Cobbe // Road Research Technical Paper. - № 56, HMSQ. – London, 1996. – 111 p.
3. Смирнов, Н.Н. Математическое моделирование автотранспортных потоков [Текст] / Н.Н. Смирнов, А.Б. Киселев, В.Ф. Никитин, М.В. Юмашев // Вести. МГУ, 1999. – С. 48 - 56.
4. Оценка влияния транспорта на загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах [Текст] / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, Ю.В. Трофименко, М.В. Яшина // Наука. Техника. Управление: сб. обзор, информ.- М., 1997. - № 6. – С. 34 - 44.
5. Швецов, В.И. Математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / В.И. Швецов // Автоматика и телемеханика, 2003.- № 11. – С. 21 - 23.



Ст. преп. А.А. Божанов, докт. техн. наук, проф. И.В. Гальянов  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел

## ТРАВМАТИЗМ СО СМЕРТЕЛЬНЫМ И ТЯЖЕЛЫМ ИСХОДОМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОХОДНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ РФ

*В представленной статье приведен анализ случаев травмирования операторов и обслуживающего персонала при эксплуатации фронтальных погрузчиков в АПК.*

Исследование случаев травмирования работников при эксплуатации самоходных погрузчиков в АПК проводилось путем анализа официальных документов - актов формы Н-1 и материалов расследования несчастных случаев на производстве со смертельным исходом за пятнадцатилетний период с 1988 по 2002 годы и тяжелым исходом за период с 1998 по 2002 годы. Было установлено, что за указанные периоды времени произошло 28 несчастных случаев со смертельным исходом и 8 несчастных случаев с тяжелым исходом, причем, как видно из рисунка 1, случаи травмирования регистрировались ежегодно, за исключением 1998 года.

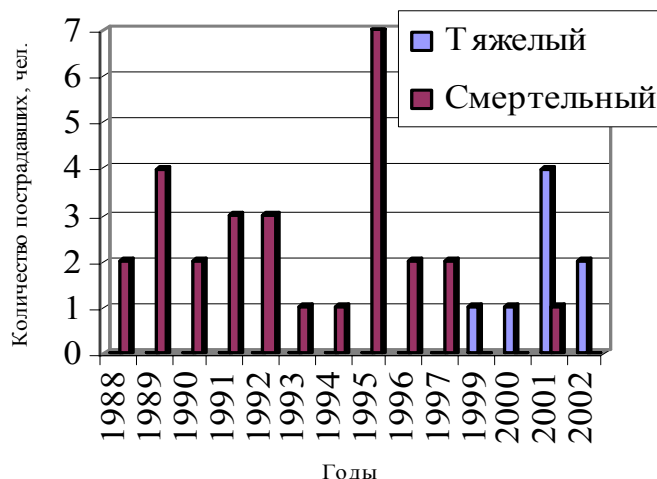


Рис. 1. Распределение числа пострадавших работников по годам и исходу травмы

Наибольшее число случаев травмирования работников регистрировалось при выполнении работ по ремонту и техническому обслуживанию погрузчиков, а также при использовании в животноводстве, строительстве и растениеводстве. Единичные случаи были зарегистрированы в пищевом, мясном и молочном производстве, а также при выполнении транспортных и лесозаготовительных работ (табл. 2).

Как показал анализ материалов расследования, в агропромышленном производстве более 50% несчастных случаев произошло при эксплуатации и обслуживании самоходного погрузчика ПЭА-1,0 «Карпатец».

При эксплуатации и обслуживании погрузчиков погибли 17 трактористов и 4 были тяжело травмированы, что составило 58,3% от общего числа пострадавших за исследуемый период; погибли 5 водителей погрузчиков и 1 тяжело травмирован, погибли: слесарь-ремонтник, слесарь-электрик, стропальщик, грузчик, наладчик и учащийся СПТУ, были тяжело травмированы слесарь-ремонтник, подсобный рабочий и электромонтер.

Таблица 1

Распределение числа пострадавших по видам экономической деятельности

| Виды деятельности        | Всего | % от общего числа пострадавших | Самоходные погрузчики |        |
|--------------------------|-------|--------------------------------|-----------------------|--------|
|                          |       |                                | ПЭА-1,0 "Карпатец"    | другие |
| Ремонт и техобслуживание | 11    | 30,6                           | 6                     | 5      |
| Животноводство           | 8     | 22,2                           | 7                     | 1      |
| Строительство            | 6     | 16,7                           | 0                     | 6      |
| Растениеводство          | 5     | 13,9                           | 4                     | 1      |
| Мясное производство      | 1     | 2,8                            | 0                     | 1      |
| Молочное производство    | 1     | 2,8                            | 0                     | 1      |
| Пищевое производство     | 1     | 2,8                            | 0                     | 1      |
| Транспорт                | 1     | 2,8                            | 1                     | 0      |
| Лесозаготовка            | 1     | 2,8                            | 1                     | 0      |
| Не установлен            | 1     | 2,8                            | 0                     | 1      |
| Итого                    | 36    | 100,0                          | 19                    | 17     |

Две трети пострадавших работников имели стаж работы 5 лет и выше и, тем не менее, получили травмы, что, скорее всего, связано с недостаточной эффективностью обучения по охране труда или его отсутствием, а также притуплением чувства опасности в связи с большим стажем работы. Около 20% пострадавших имели стаж работы до 1 года и не обладали достаточным опытом и навыками в работе.

Так, из таблицы 2 видно, что прошли обучение по охране труда 76% травмированных трактористов-машинистов, 67% водителей погрузчиков. Без обучения по охране труда были допущены к выполнению работ слесари – ремонтники.

Таблица 2

Распределение числа пострадавших по обученности по охране труда и профессиям

| Профессии рабочих   | Всего | Обученность по охране труда |                       |            |
|---------------------|-------|-----------------------------|-----------------------|------------|
|                     |       | Обучение проведено          | Обучение не проведено | Нет данных |
| Тракторист-машинист | 21    | 16                          | 5                     | 0          |
| Водитель погрузчика | 6     | 4                           | 2                     | 0          |
| Слесарь-ремонтник   | 2     | 0                           | 2                     | 0          |
| Стропальщик         | 1     | 1                           | 0                     | 0          |
| Грузчик             | 1     | 0                           | 0                     | 1          |
| Подсобный рабочий   | 1     | 1                           | 0                     | 0          |
| Электромонтер       | 1     | 1                           | 0                     | 0          |
| Наладчик            | 1     | 1                           | 0                     | 0          |
| Слесарь-электрик    | 1     | 0                           | 0                     | 1          |
| Учащиеся СПТУ       | 1     | 1                           | 0                     | 0          |
| Итого               | 36    | 25                          | 9                     | 2          |

В связи с сезонным характером работ в агропромышленном производстве наибольшее количество несчастных случаев происходило с июня по ноябрь, наименьшее наблюдалось в январе и декабре.

Анализ ситуаций возникновения несчастных случаев показал, что 69,4% случаев произошло в результате дорожно-транспортных происшествий, а именно: наездов, опрокидываний и столкновений, причем 63,9% несчастных случаев закончились смертельным исходом. Так, стропальщик, грузчик, слесарь-электрик и слесарь-ремонтник погибли в результате наездов на них погрузчиков при выполнении ими трудовых обязанностей на рабочих местах. Шестнадцать несчастных случаев (76,2% от общего числа несчастных случаев среди трактористов) с трактористами-машинистами

также явились следствием дорожно-транспортных происшествий, из них 5 случаев произошли в результате опрокидывания погрузчика при съезде в кювет, 10 – наездов погрузчиков на трактористов, из них в 5 случаях при запуске двигателя не из кабины погрузчика.

Один тракторист, нарушивший правила проезда железнодорожных переездов, погиб в результате столкновения с железнодорожным транспортом.

Половина несчастных случаев с водителями погрузчиков также произошла в результате дорожно-транспортных происшествий, а именно: опрокидывания в кювет, наезда при запуске двигателя не из кабины погрузчика.

В результате опрокидывания погиб 16 – летний учащийся СПТУ, которому во время движения погрузчика было передано управление. Не имея опыта и навыков управления погрузчиком, учащийся допустил его опрокидывание в кювет. Таким образом, дорожно-транспортные происшествия (наезды и опрокидывания) являются основной ситуацией травмирования работников при эксплуатации погрузчиков (рис. 2).

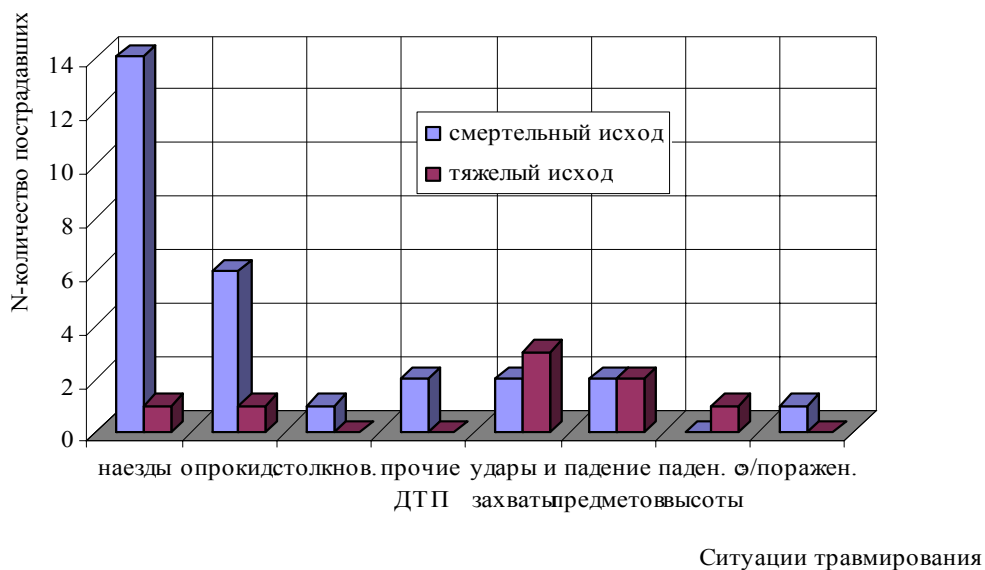


Рис. 2. Распределение числа пострадавших по ситуациям травмирования и исходу травмы

Среди всех наездов на исполнителей работ особое место занимают наезды на пострадавших в процессе запуска ими двигателя погрузчика. Основной двигатель погрузчиков заводится с помощью вспомогательного двигателя электрическим стартером из кабины. Однако в случаях выхода из строя стартера или аккумуляторной батареи водитель погрузчика или тракторист вынуждены запускать вспомогательный двигатель вручную, стоя в опасной близости от машины, с помощью ручного дублирующего пускового механизма или пускового шнура. Если рычаг коробки переменных передач не установлен в нейтральное положение, погрузчик после запуска двигателя трогается с места и возможен наезд на исполнителя работ или лиц, находящихся на пути его неуправляемого движения. В таких условиях погибло 6 работников. Кроме того, выявлено, что устройство блокировки, предназначенное для предотвращения запуска двигателя при включенной передаче, у погрузчиков было неисправно или вообще отсутствовало.

При перемещении и строповке грузов в результате их падения пострадали 4 работника. Получил тяжелую травму тракторист при выходе из погрузчика в результате падения с него. В результате различных ударов и захвата вращающимися узлами погрузчика при его ремонте и техническом обслуживании пострадало 5 работников.

Анализ материалов расследования показал, что основной причиной несчастных случаев со смертельным и тяжелым исходом при эксплуатации, ремонте и техническом обслуживании погрузчиков являются нарушения в организации трудового процесса (47,2% от общего числа несчастных случаев) (рис. 3). В первую очередь отмечается отсутствие контроля со стороны руководителей работ за безопасностью выполнения производственного процесса и соблюдением работниками трудовой дисциплины, допуск к работе лиц без соответствующей подготовки по профессии и охране труда, отсутствие ответственного при групповом выполнении работ и др.

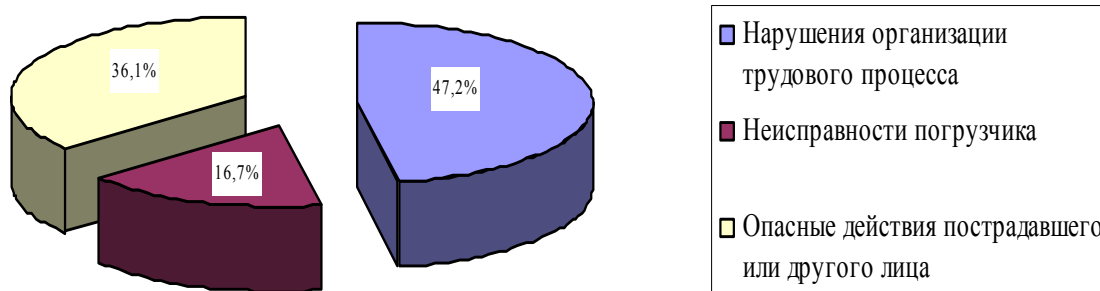


Рис. 3. Основные причины несчастных случаев при эксплуатации и обслуживании погрузчиков

Из-за совершения опасных действий самими пострадавшими или другими лицами произошло 13 несчастных случаев, из них в 10 случаях были отмечены нарушения правил дорожного движения, такие как: нарушение правил начала движения и маневрирования, правила стоянки, превышение скорости, вскакивание на движущийся погрузчик, и передача управления погрузчиком другому лицу.

Из-за неисправности погрузчиков произошло 6 несчастных случаев, основной неисправностью явилась неисправность или отсутствие блокирующего устройства, исключающего запуск двигателя при включенной передаче.

На основе полученных данных можно сделать ряд выводов:

1. В агропромышленном производстве почти ежегодно регистрируются несчастные случаи со смертельным или тяжелым исходом при эксплуатации и обслуживании самоходных погрузчиков.
2. Две трети зарегистрированных несчастных случаев, связанных с самоходными погрузчиками, явились следствием дорожно-транспортных происшествий, в основном наездов и опрокидываний.
3. Подъемно-транспортные и погрузочно-разгрузочные работы, а также ремонт и техническое обслуживание погрузчиков представляют опасность травмирования работников со смертельным и тяжелым исходом.