



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.
Выходит шесть раз в год.

№3 (35) 2011
(май-июнь)

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Деркач В.Н., Орлович Р.Б.** Несущая способность каменного заполнения каркасных зданий..... 3
- Ильичев В.А., Готман Ю.А.** Расчет оптимальных размеров грунтоцементного массива для снижения осадок окружающих зданий при строительстве подземного комплекса на площади Тверская Застава в городе Москва..... 9
- Коробко В.И., Калашников М.О.** Диагностика и контроль качества железобетонных балок с использованием коэффициента нелинейных искажений..... 18
- Коробко А.В., Черняев А.А.** Определение основной частоты свободных колебаний пластинок в форме прямоугольных треугольников с комбинированными граничными условиями с использованием отношения конформных радиусов..... 24

Архитектура и градостроительство

- Иващук О.Д.** Управление экологической ситуацией на территориях жилой застройки на основе моделирования..... 30

Строительные материалы и технологии

- Гречихин Л.И., Назарчук З.Т., Скальский В.Р., Подлозный Э.Д.** Упрочнение бетона плазменной обработкой поверхности..... 40
- Евтеева С.М.** Опыт использования ремонтных смесей при подготовке поверхности дорожных покрытий к нанесению горизонтальной разметки. 53
- Ладаев Н.М., Гуюмджян П.П., Жбанова Е.В.** Об измельчении материалов в мельнице ударного действия..... 59
- Мигунов В.Н., Овчинников И.И.** Методика определения влияния внутренних факторов железобетонных элементов на долговечность обычных железобетонных образцов с учетом коррозионного поражения арматуры..... 63
- Плетминцев С.А.** Техничко-экономическое обоснование допустимой величины риска возникновения ДТП по дорожным условиям на существующих автомобильных дорогах..... 70

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.
Киричек А.В. д.т.н., проф.
Колчунов В.И. д.т.н., проф.
Константинов И.С. д.т.н., проф.
Новиков А.Н. д.т.н., проф.
Попова Л.В. д.э.н., проф.
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

Гончаров Ю.И. д.т.н., проф.
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. д.т.н., доц.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Меркулов С.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Ольков Я.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Сергейчук О.В. д.т.н., проф.
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
Тур В.В. д.т.н., проф.
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Шах Р. д.т.н., проф.

Ответственные за выпуск:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.
Солопов С.В. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,
ул. Московская, 77.
Тел.: +7 (4862) 73-43-49;
www.gu-unpk.ru
E-mail: oantc@ostu.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи и массовых ком-
муникаций. Свидетельство:
ПИ № ФС77-35718 от 24 марта 2009 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011

Журнал «Строительство и реконструкция» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.



Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.

№3 (35) 2011
(May-June)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state educational institution of the higher vocational training
«State University – Educational-Science-Production Complex»
(State University ESPC)

Editorial council:

Golenkov V.A. *Doc. Sc. Tech., Prof., president*

Radchenko S.Y. *Doc. Sc. Tech., Prof., vice-president*

Borzenkov M.I. *Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.*

Astafichev P.A. *Doc. Sc. Law., Prof.*

Ivanova T.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kirichek A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kolchunov V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Konstantinov I.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Novikov A.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Popova L.V. *Doc. Ec. Tech., Prof.*

Stepanov Y.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editor-in-chief assistants:

Goncharov Y.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kolesnikova T.N. *Doc. Arc., Prof.*

Korobko V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editorial committee

Bondarenko V.M. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Gordon V.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Karpenko N.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kljueva N.V. *Doc. Sc. Tech., Assistant Prof.*

Korobko A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Korol E.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Merkulov C.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Olkov Y.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Rimshin V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Sergeyev O.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Serpik I.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Tur V.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Turkov A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Fyodorov V.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Chernyshov E.M. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Schach R. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Responsible for edition:

Danilevich D.V. *Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.*

Solopov S.V. *Candidat Sc. Tech.*

The edition address: 302006, Orel,
Street Moscow, 77
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oante@ostu.ru

Journal is registered in Federal service on supervision in sphere of communication and mass communications

The certificate of registration:
ПН № ФС77-35718 from 24.03.09

Index on the catalogue of the «**Pressa Rossii**»
86294

© State University ESPC, 2011

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

Derkatch V.N., Orlovich R.B. Stone filling load-carrying capacity skeleton-type buildings.....	3
Ilyichev V.A., Gotman Yu.A. Calculation of jet-grouted soil massif optimal dimensions for reduction the settlements of the existing buildings while construction an underground complex in Moscow.....	9
Korobko V.I., Kalashnikov M.O. Detecting and quality control of reinforced concrete beams with using of the nonlinear harmonic distortion coefficient application.....	18
Korobko A.V., Chernyaev A.A. The definition of the basic frequency free vibrations of plates in form of the rectangular triangles with combined boundary conditions with use of the relation of conformal radiuses.....	24

Architecture and town-planning

Ivashchuk O.D. Control of the ecological situation on territories of the housing estate on the basis of modeling.....	30
--	----

Construction materials and technologies

Gretchihin L.I., Nazarchuk Z.T., Skalsky V.R., Podloznyj E.D. Hardening of concrete by plasma processing of the surface.....	40
Evtseva S.M. Experience of use of repair mixes by preparation of the surface of road coverings for drawing of the horizontal marking.....	53
Ladaev N.M., Guyumdzhyan P.P., Zhanova E.V. About crushing of materials in the mill of shock action.....	59
Migunov V.N., Ovchinnikov I.I. Method of determining of internal factors influence on the durability of concrete elements of conventional concrete specimens based corrosion of destruction armature.....	63
Pletmintsev S.A. The technical and economic report on admissible size of risk of occurrence of road accident on road conditions on existing highways.....	70

Journal is included into the List of the Higher Examination Board for publishing the results of theses for competition the academic degrees

УДК 693.22

ДЕРКАЧ В.Н., ОРЛОВИЧ Р.Б.

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КАМЕННОГО ЗАПОЛНЕНИЯ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

Выполнен обзор и анализ подходов к расчету прочности каменного заполнения каркасных зданий при действии горизонтальных нагрузок из плоскости стены, вертикальных и горизонтальных сдвиговых деформациях каркаса. Приведены результаты экспериментальных и численных исследований совместной работы каркаса здания и его каменного заполнения. Показаны возможные механизмы разрушения каменной кладки при горизонтальном и вертикальном сдвиге ячеек каркаса, факторы, влияющие на эффективность включения каменного заполнения в работу каркаса.

Ключевые слова: *каркасные здания, каменное заполнение, механизм разрушения, расчет прочности заполнения.*

В последние годы в домостроении доминируют каркасные здания с каменным заполнением внутренних и наружных стен. При расчете таких зданий совместная работа стен с каркасом обычно не учитывается. Выполненные ранее исследования выявили существенное влияние каменного заполнения на несущую способность и деформативность каркасных зданий. Например, согласно [1] жесткость высотных зданий с каменным заполнением при действии ветровых нагрузок может в 10-20 раз превосходить жесткость каркаса. Еще в 40-х годах прошлого столетия Л.И. Онищик указал на возможность при расчете каркаса на ветровую нагрузку учитывать несущую способность заполнения, рассматривая его в качестве сжатых раскосов каркасной стены (рисунок 1). Практическая реализация этого предложения нашла отражение при строительстве ряда высотных зданий, возводимых в сейсмически опасных зонах.

В настоящее время в целях энергосбережения наружные стены каркасно-монолитных домов все чаще выполняются трехслойными (лицевой кирпичный слой + утеплитель + внутренний слой из легкой кладки). Внутренний слой является заполнением каркаса и кроме собственного веса должен воспринимать ветровую нагрузку, передаваемую от лицевого слоя через анкера. Несущая способность внутреннего слоя на изгиб из своей плоскости главным образом зависит от его толщины и размеров $L \times H$, материала кладки и способа закрепления к каркасу. Последнее может осуществляться по всему контуру либо в целях исключения передачи дополнительной нагрузки от плиты перекрытия по трем сторонам, когда между плитой и верхом кладки оставляется деформационный шов. Прочностной расчет заполнения выполняется как для плиты, опертой по контуру, так и по трем сторонам с учетом влияния оконных и дверных (балконных) проемов. С учетом трудоемкости таких расчетов в нормах ряда стран приводятся конструктивные параметры заполнения, при которых гарантируются его требуемая несущая способность от горизонтальных нагрузок.

Например, немецкие нормы DIN 1053-1 [2] дают максимально возможную площадь каменного заполнения наружных стен (см. таблицу 1).

Кроме ветровой нагрузки и собственного веса внутренний слой слоистых стен при его опирании на перекрытия может испытывать дополнительные напряжения от прогибов последних. Их величина при больших пролетах L и с учетом ползучести бетона может быть значительной, что приводит к трещинообразованию не только лицевого, но и внутреннего слоя [3]. Такое повреждение заполнения является неизбежным, когда кладка выполняется из низкопрочных камней на тонких растворных швах. В отечественной практике для каменного заполнения обычно используются блоки из ячеистых бетонов иногда с недопустимо низкой плотностью 400-450 кг/м³. Кладка из таких материалов не только чувствительна к прогибам

перекрытий, но и к сдвиговым деформациям каркаса, вызванных ветровой нагрузкой, неравномерными осадками основания, либо колебаниями температуры. По этой причине включение кладки из ячеистобетонных камней в работу каркаса вряд ли возможно. По нашему мнению, заполнение каркаса необходимо осуществлять прочной кладкой, способной воспринимать указанные выше воздействия и работать совместно с каркасом. При этом теплозащитные функции наружных стен должен выполнять внутренний вентилируемый слой с эффективным утеплителем. Неэффективность теплозащитных функций заполнения из ячеистобетонных блоков следует также из наличия мостиков холода, которыми являются железобетонные плиты и поперечные стены каркаса. Теплопотери через такие мостики холода могут достигать более 20% [3]. Следует отметить, что замена легкой кладки заполнения на кладку более высокой прочности не отразится существенно на стоимости каркасного здания, в котором удельный вес наружных стен составляет 10-15%. Внутренний слой может быть меньшей толщины по сравнению с кладкой из ячеистобетонных блоков. Более того, включение кладки заполнения в работу каркаса может дать значительный экономический эффект, связанный с уменьшением расхода арматуры и бетона на каркас [4, 5].

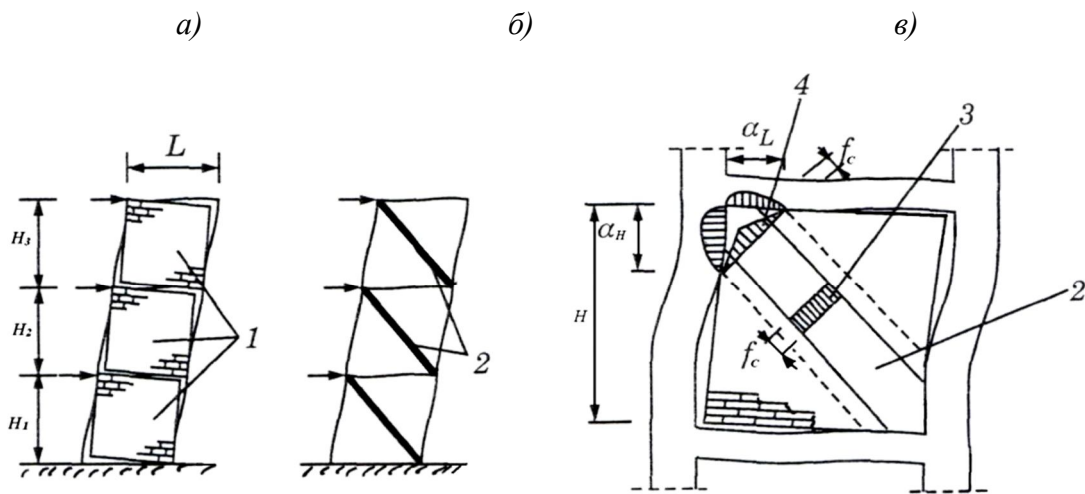


Рисунок 1 – Моделирование каменного заполнения каркаса здания раскосами:
 а – схема каркаса с каменным заполнением; б – расчетная схема; в – идеализированная схема распределения напряжений в стеновом заполнении; 1 – кирпичная кладка; 2 – заменяющие раскосы; 3 – сжимающие напряжения в раскосе; 4 – распределение напряжений в углах ячейки каркаса; f_c – прочность кладки на сжатие; α_H, α_L – размеры зоны контакта заполнения с элементами каркаса

Таблица 1 – Максимальная площадь каменного заполнения каркаса наружных стен согласно DIN 1053-1

Толщина стены, мм	Высота расположения стены над уровнем земли								
	0 ÷ 8 м			8 ÷ 20 м			20 ÷ 100 м		
	L/H=0,5	L/H=1,0	L/H=2,0	L/H=0,5	L/H=1,0	L/H=2,0	L/H=0,5	L/H=1,0	L/H=2,0
Стены, закрепленные к каркасу по четырем сторонам									
175	22	20	22	13	13	13	9	9	9
240	38	36	38	25	23	25	18	16	18
≥ 300	60	54	60	38	35	38	28	25	28
Стены, закрепленные к каркасу по трем сторонам (верх не закреплен)									
175	8	10	16	-	-	-	-	-	-
240	16	20	30	10	12	18	-	-	-
≥ 300	25	30	45	16	20	28	12	15	20

В работе [4] приведены результаты испытаний на сдвиг металлической рамы с заполнением кладки из силикатных блоков на тонких растворных швах. Благодаря заполнению сдвиговая жесткость рамы существенно возросла (рисунок 2).

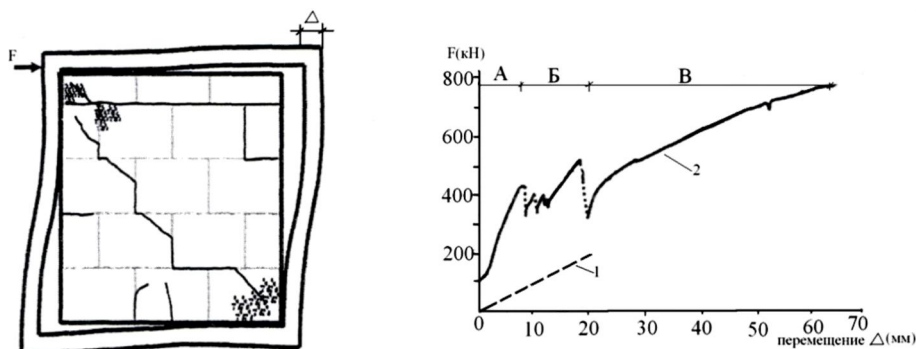


Рисунок 2 – Результаты испытаний металлической рамы на сдвиг без каменного заполнения (линия 1) и с заполнением из силикатных блоков (линия 2)

Выявлены три фазы работы заполнения. В фазе «А» происходило отслоение кладки от рамы. При дальнейшем нагружении кладка работала на сжатие в диагональном направлении вплоть до образования кривой трещины (фаза «Б»). В фазе «В» происходило разрушение кладки в угловых зонах рамы в виде ее раздробления. Следует отметить возможность иного механизма разрушения каменного заполнения при его работе на сдвиг в составе каркаса. При действии горизонтальных нагрузок разрушение может произойти в результате сдвига кладки по неперевязанному шву (рисунок 3). Такое разрушение характерно для кладок с низкой прочностью растворных швов.

При действии вертикальных сдвигающих деформаций каркаса, вызванных, например, неравномерной осадкой фундаментов, можно наблюдать более сложные механизмы разрушения. Согласно работе [3] величину горизонтального усилия F_d , при котором происходит расстрескивание кладки по диагонали, рекомендуется определять из выражения (1):

$$F_d = 2\sqrt{2}tHf_t \cos^2 \theta, \quad (1)$$

где t – толщина кладки; H – высота заполнения кладкой; f_t – прочность кирпичной кладки на растяжение; θ – угол между горизонтальными растворными швами и диагональю заполнения.

Для оценки несущей способности каменного заполнения на срез по горизонтальному растворному шву (рисунок 3, а) используем следующие выражение:

$$F_s = \frac{0,5\tau_0 L t}{1 - \mu \tan \theta}, \quad (2)$$

где τ_0 – величина когезии между растворными швами и камнями; μ – коэффициент внутреннего трения растворного шва; L – длина заполнения кладкой.

Горизонтальное предельное усилие F_c , при котором приходит локальное разрушение кладки в углах рамы (см. рисунок 1), автор работы [3] предлагает определять по формуле (3):

$$F_c = \omega f_c \cos \theta, \quad (3)$$

где ω – эффективная ширина кладки, работающая на сжатие по диагонали (рисунок 1, в); f_c – сопротивление кладки сжатию под углом θ к горизонтальным растворным швам.

Одним из существенных факторов, влияющих на эффективность включения каменного заполнения в работу каркаса, является способ соединения кладки с каркасом (гладкое соединение, с наличием анкеровки и т.д.).

На рисунках 4, 5 представлены отдельные результаты численного анализа несущей способности кладки в составе железобетонного каркаса [6]. Расчеты выполнялись с помощью программы «DIANA» с использованием следующих механических характеристик кладки: прочность на растяжение – 0,12 МПа, прочность на сжатие – 1,94 МПа, модуль упругости – 13800 МПа, энергия разрушения при сжатии – $G_{fc} = 5,0$ Н/мм, энергия разрушения при растяжении – $G_{ft} = 0,01$ Н/мм.

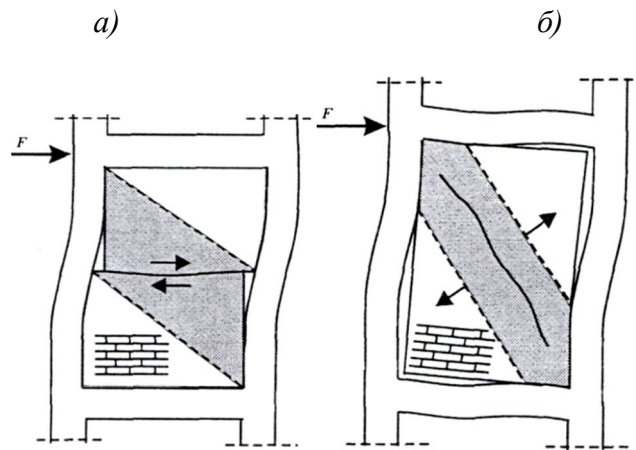


Рисунок 3 – Механизм разрушения каменного заполнения каркаса при горизонтальном сдвиге: а – в результате скалывания в плоскости горизонтальных растворяющих швов; б – в результате растрескивания по сжатой диагонали

Рассмотрен случай, когда железобетонная рама работала упруго без разрушения, а на ее контакте с кладкой было обеспечено полное сцепление. Разрушение кладки началось с образования диагональной трещины в средней части заполнения, где напряжения превысили прочность кладки на растяжение, а главные растягивающие деформации достигли максимальной величины. После полного развития трещины на всю длину диагонали в работу на сдвиг включился железобетонный каркас, что обозначено линией 3 на рисунке 5.

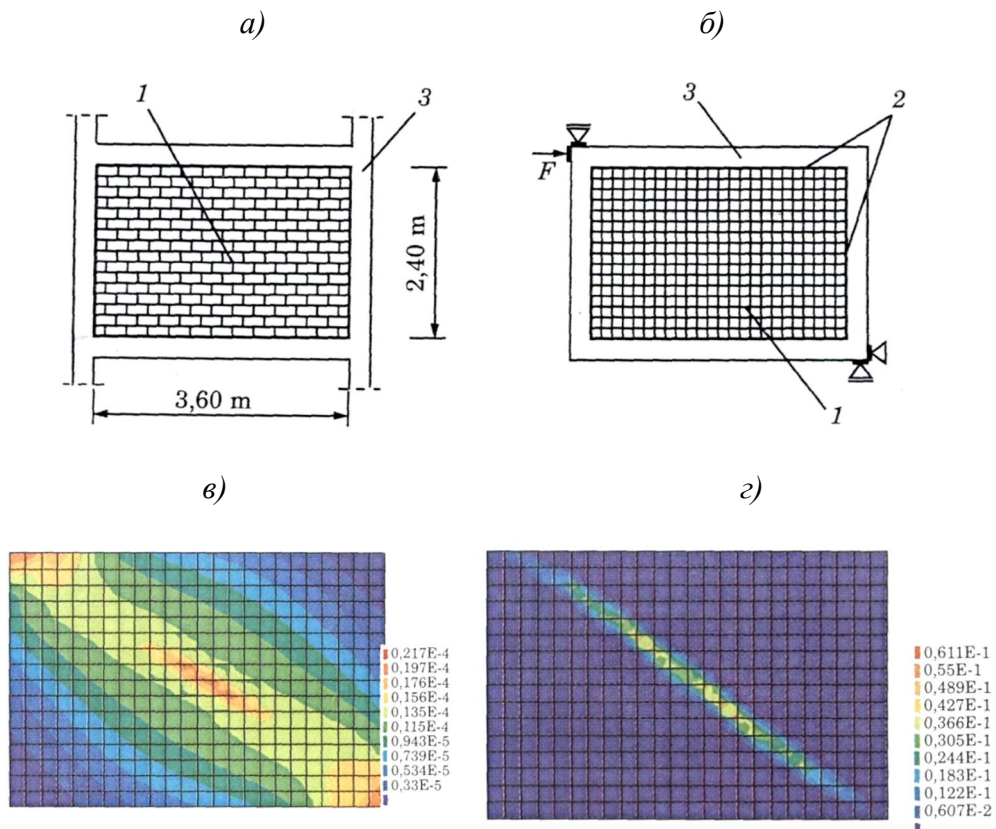


Рисунок 4 – Анализ несущей способности каменного заполнения: а – конструктивная схема рамы; б – расчетная схема рамы; в – распределение главных растягивающих деформаций перед образованием диагональной трещины; з – то же после образования трещины; 1 – каменная кладка; 2 – контактные конечные элементы; 3 – железобетонная рама

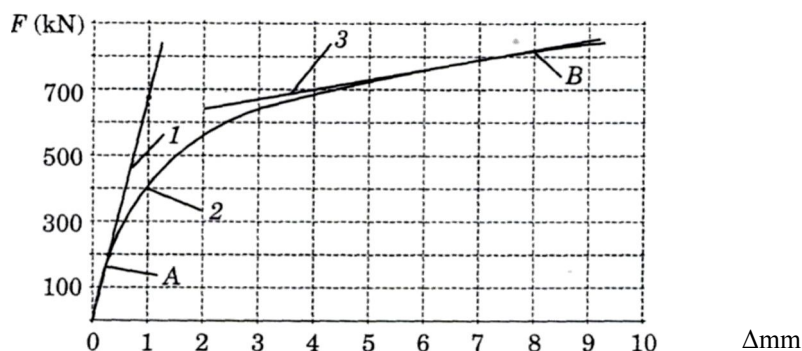


Рисунок 5 – Зависимость между сдвигающим усилием F и перемещением точки приложения усилия Δ : 1 – с учетом упругой работы кладки; 2 – с учетом трещинообразования кладки; 3 – сдвиговая жесткость рамы; A – начало трещинообразования; B – полное раскрытие диагональной трещины

Следует признать, что достоверные данные о совместной работе заполнения с каркасом могут быть получены только экспериментальным путем, который из-за невозможности масштабного моделирования кладки должен выполняться на образцах натуральных размеров. В связи с высокой стоимостью и трудоемкостью таких экспериментов численное моделирование является полезным с точки зрения возможности установления различных факторов, влияющих на совместную работу кладки с каркасом. При этом удается достаточно точно выявить картину напряженно-деформационного состояния системы.

Сложнее обстоит вопрос с выявлением механики разрушения, здесь требуются соответствующие критерии прочности и технические параметры разрушения кладки, например, энергия разрушения, которые можно установить только экспериментальным путем. К сожалению, численные значения таких параметров как в отечественной, так и зарубежной технической литературе либо отсутствуют, либо представлены в ограниченном количестве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков, С.В. Каменная кладка в каркасных зданиях [Текст] / С.В. Поляков. – М: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956. – 189 с.
2. DIN 1053-100 Mauerwerk-Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts. – 2006. – 411 p.
3. Ищук, М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки [Текст] / М.К. Ищук. – М.: РИФ «Стройматериалы». – 2009. – 360 с.
4. Ngandu, В.М. Analysis of calcium silicate element-infilled steel frames. International Masonry Conference, London, 2006. – P. 124-135.
5. Орлович, Р.Б. Отечественные и зарубежные технические решения по наружному стеновому ограждению высотных зданий [Текст] / Р.Б. Орлович, А.Я. Найчук, В.Н. Деркач // Архитектура, дизайн и строительство. – Санкт-Петербург. – 2009. – №3-4 [43] – С. 56-57.
6. Малышко, Л. Каменные конструкции. Трещинообразование и ремонты [Текст] / Л. Малышко, Р. Орлович. – Ольштын, UWM, 2000. – 67 с.

Деркач Валерий Николаевич

Филиал Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС»
«Научно-технический центр», Республика Беларусь, г. Брест
Кандидат технических наук
Тел.: +375 (162) 41-19-61
E-mail: v-derkatch@yandex.ru

Орлович Роман Болеславович

Западно-Померанский технологический университет, Республика Польша, г. Щецин
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
E-mail: orlowicz@mail.ru

DERKATCH V.N., ORLOVICH R.B.

STONE FILLING LOAD-CARRYING CAPACITY SKELETON-TYPE BUILDINGS

Overview and the analysis of approaches to calculation of strength of a stone filling of framework-type buildings at action of horizontal loads from a plane of a wall, vertical and horizontal shift deformations of a framework is executed. Results of experimental and numerical researches of teamwork of a building frame and its stone filling are resulted. Possible gears of destruction of a masonry are shown at horizontal and vertical shear of meshes of a framework, the factors influencing efficiency of turning on of a stone filling in work of a framework.

Keywords: *skeleton-type buildings, a stone filling, the destruction gear, calculation of strength of filling.*

BIBLIOGRAPHY

1. Poljakov, S.V. Kamennaja kladka v karkasnyh zdaniyah [Tekst] / S.V. Poljakov. – M: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arhitekture, 1956. – 189 s.
2. DIN 1053-100 Mauerwerk-Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts. – 2006. – 411 p.
3. Iwuk, M.K. Otechestvennyj opyt vozvedenija zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoj kladki [Tekst] / M.K. Ishwuk. – M.: RIF «Strojmaterialy». – 2009. – 360 s.
4. Ngandu, B.M. Analysis of calcium silicate element-infilled steel frames. International Masonry Conference, London, 2006. – P. 124-135.
5. Orlovich, R.B. Otechestvennye i zarubezhnye tehicheskie reshenija po naruzhnomu stenovomu ograzhdeniju vysotnyh zdaniy [Tekst] / R.B. Orlovich, A.Ja. Najchuk, V.N. Derkach // Arhitektura, dizajn i stroitel'stvo. – Sankt-Peterburg. – 2009. – №3-4 [43] – S. 56-57.
6. Malyshko, L. Kamennye konstrukcii. Trewinoobrazovanie i remonty [Tekst] / L. Malyshko, R. Orlovich. – Ol'shtyn, UWM, 2000. – 67 s.

Derkach Valery Nikolaevich

Branch of Republican unitary enterprise «Institute BelSRIB»
«Scientific and technical center», Republic Belarus, Brest
Candidate of technical science
Ph.: +375 (162) 41-19-61
E-mail: v-derkach@yandex.ru

Orlovich Roman Boleslavovich

West Pomeranian technological university, Republic Poland, Szczecin
Doctor of technical science, professor, head of department «Building designs»
E-mail: orlowicz@mail.ru

ИЛЬИЧЕВ В.А, ГОТМАН Ю.А.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ГРУНТОЦЕМЕНТНОГО МАССИВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОСАДОК ОКРУЖАЮЩИХ ЗДАНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА НА ПЛОЩАДИ ТВЕРСКАЯ ЗАСТАВА В ГОРОДЕ МОСКВА

Для откопки глубоких котлованов внутри плотной городской застройки часто требуется применение дополнительных мероприятий, снижающих перемещения ограждения, а соответственно, и осадки окружающих зданий в процессе производства работ. Для этих целей все чаще стала применяться струйная геотехнология, позволяющая создавать в грунте грунтоцементный массив различной формы с физико-механическими свойствами, на несколько порядков превышающими свойства грунта. В данной статье рассматривается пример использования этой технологии для поставленных целей в процессе предпроектной проработки технических решений устройства подземного пространства многофункционального комплекса на площади Тверская застава в городе Москва. Приведены основные положения и результаты расчета, позволяющего методами оптимального проектирования определять размеры грунтоцементного массива, снижающего перемещения ограждения до требуемых величин.

Ключевые слова: технология «сверху вниз», грунтоцементный массив, ограждение котлована, балка на упругом основании, оптимальное проектирование.

При строительстве в условиях плотной городской застройки, например, в районе напряженных транспортных потоков, одним из главных факторов, объясняющих выбор той или иной технологии, является время строительства, поэтому важной задачей в организации работ является минимизация времени работы магистрали в условиях ограниченной пропускной способности. Ниже будет рассмотрено техническое решение, позволяющее существенно ускорить работы по устройству подземного пространства и при этом обеспечить минимальное влияние откопки на НДС грунтового массива в целом, что является основным критерием при проектировании в стесненных условиях города.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматриваемый подземный комплекс представляет собой сложное в плане подземное сооружение разной этажности (3-5 подземных этажей) общей глубиной от 15 до 23 м с каркасно-монолитной ж/б конструктивной схемой и ограждением, выполненным по технологии «стена в грунте». Ситуационный план комплекса представлен на рисунке 1.

Здания, расположенные вокруг комплекса и попадающие в зону влияния откопки котлована, представляют собой объекты разной этажности, различных годов постройки и с различным техническим состоянием конструкций, что влияет на требования по допустимым осадкам во время строительства. В основном преобладают постройки конца XIX начала XX века, имеющие историческую ценность.

С одной стороны, в интересах города, а соответственно основным требованием заказчика было максимальное ускорение производства строительных работ, другой стороны, требовалось обеспечить сохранность окружающей застройки.

Применение прогрессивной технологии «сверху-вниз» с поэтапной разработкой грунта с устройством всех промежуточных перекрытий решало проблемы, связанные с окружающей застройкой, однако время производства работ и трудоемкость были крайне велики. Для уменьшения этих показателей заказчиком было предложено рассмотреть возможность применения технологии «сверху вниз», но с устройством только одного верхнего перекрытия. Такой подход позволил бы организовать транспортные потоки по верхнему перекрытию в нормальном режиме и ускорить разработку грунта подземного комплекса, так как работы при отсут-

ствии промежуточных перекрытий можно производить тяжелой механизированной техникой (как в открытом котловане).

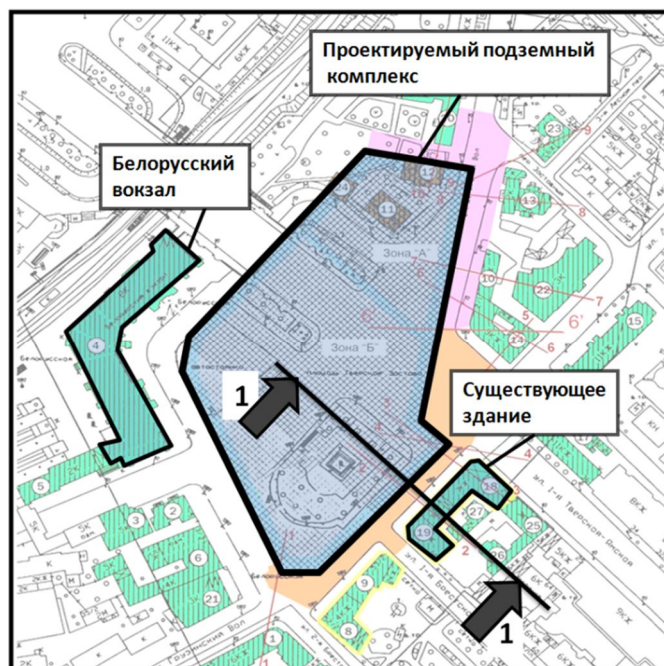


Рисунок 1 – Ситуационный план

Для рассмотрения возможности использования данной технологии, проводилось моделирование НДС грунтового массива. Для этого была создана конечно-элементная модель (рисунок 3) с учетом окружающих зданий и основных технологических этапов откопки по разрезу 1-1 (см. рисунок 1). Основные исходные данные для построения геометрии конечно-элементной схемы и физико-механические входные параметры для модели упрочняющегося грунта представлены соответственно на рисунке 2 и в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Расчетные параметры грунтов (модель «Hardening soil model»)

Наименование грунта	K , к-т бок. давления	γ_{unsat} , кН/м ³	γ_{sat} , кН/м ³	E_{50}^{ref} , кН/м ²	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$, кН/м ²	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$, кН/м ²	(m)	c_{ref} , кН/м ²	φ , °	ν
ИГЭ 1 - насыпной грунт	0,691	16	16	20000	20000	100000	0,5	2	18	0,4
ИГЭ 2 - песок	0,5	19,3	19,3	17000	17000	51000	0,5	1	27	0,33
ИГЭ 3 - песок	0,455	19,9	19,9	23000	23000	69000	0,5	33	1	0,31
ИГЭ 4 - песок	0,412	20,5	20,5	23000	23000	69000	0,5	36	1	0,29
ИГЭ 5 - глина	0,642	19,1	19,1	25 000	19000	125000	1	21	34	0,39
ИГЭ 6 - супесь	0,691	19,7	19,7	16000	16000	16000	0,75	18	32	0,4
ИГЭ 7 - глина	0,724	17	17	27000	22000	10000	0,8	16	50	0,42

Таблица 2 – Расчетные параметры грунтоцемента (модель «Linear elastic»)

Наименование грунта	Тип	γ_{unsat} , кН/м ³	E^{ref} , кН/м ²	ν
Грунтоцемент	Non-porous	20	500000	0,2

В результате расчетов (рисунок 4) выяснилось, что осадка фундаментов здания составляет 35 мм, а максимальное горизонтальное перемещение ограждения – 65 мм. Тридцать пять миллиметров является не допустимой осадкой для рассматриваемого здания и превышает разрешенную осадку (10 мм) более чем в три раза.

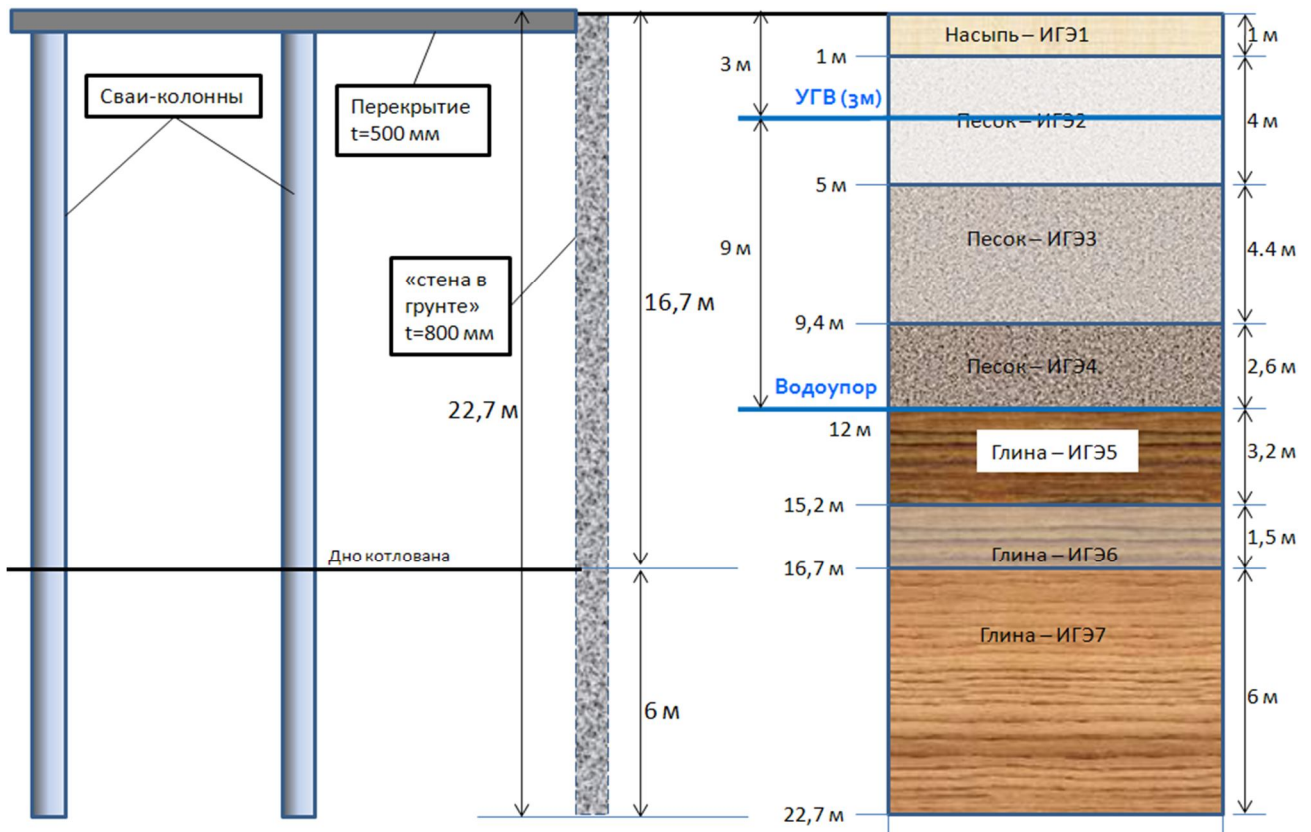


Рисунок 2 – Техническое решение, предложенное заказчиком

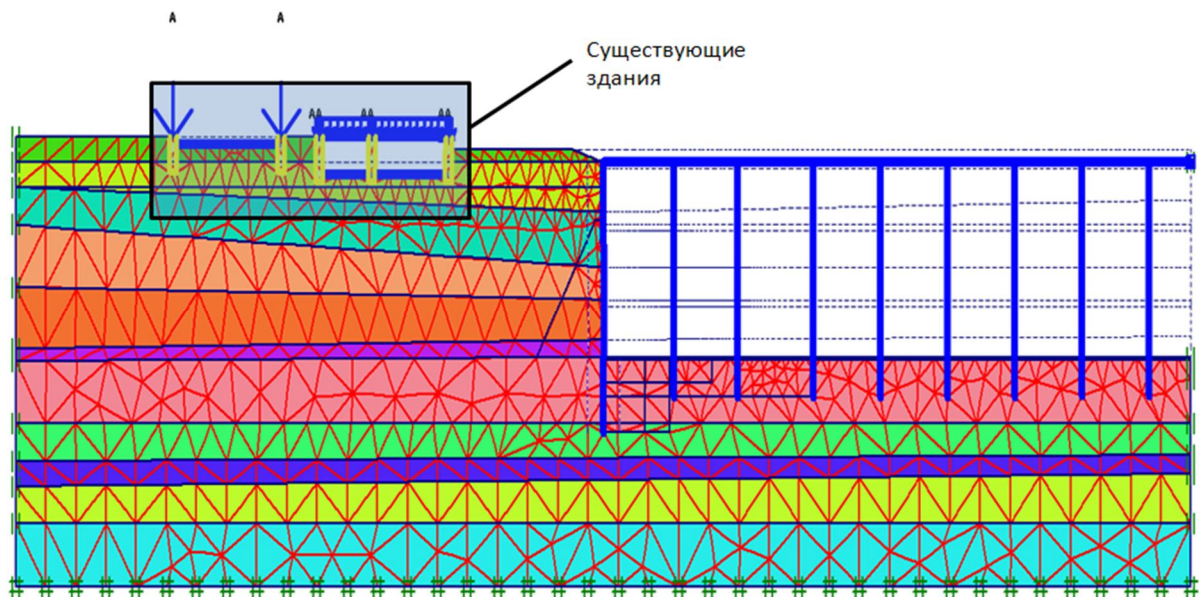


Рисунок 3 – Конечно-элементная расчетная схема

Учитывая, что усиление здания было невозможно по разным организационно-экономическим причинам, перед АНО АНТЦ РААСН заказчиком была поставлена следующая задача: с использованием технологии **jet-grouting** разработать специальные геотехнические мероприятия, позволяющие снизить расчетные осадки здания до 10 мм.

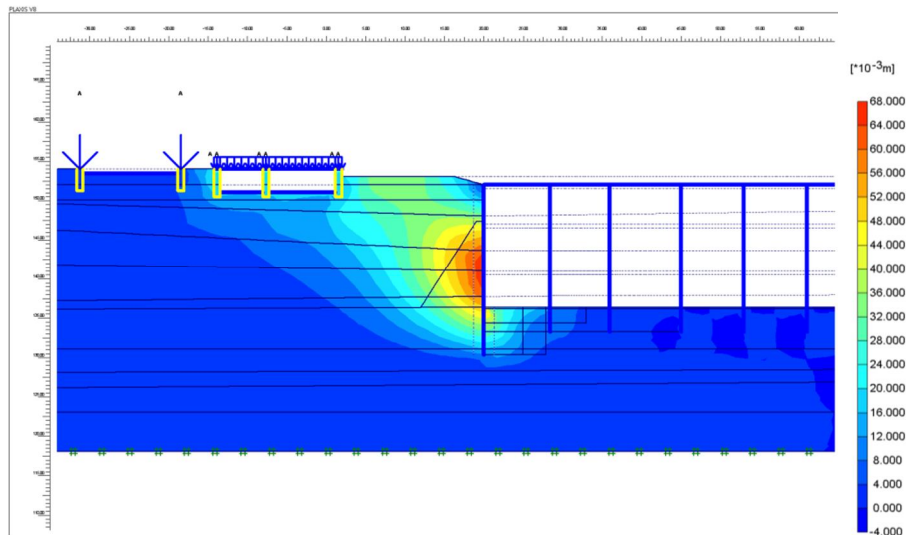


Рисунок 4 – Изополе горизонтальных перемещений грунтового массива

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Основываясь на расчетном опыте, полученном ранее на этом объекте [3, 4], объем закрепления, который позволяет достигать поставленные цели, может сильно варьироваться. Поэтому, учитывая высокую стоимость производства грунтоцемента, для решения поставленной задачи был предложен подход, основанный на теории оптимального проектирования, который позволял определять оптимальные размеры грунтоцементного массива (далее ГЦМ), снижающего перемещение ограждения до требуемых значений и, как следствие, осадки окружающих зданий в рамках выбранной технологической схемы откопки.

Для решения составляется математическая модель оптимизации, где основную роль играет расчетная модель оптимизируемой системы «ограждение-ГЦМ-грунт», в качестве которой принимаем балку на упругом винклеровском основании, где балкой является ограждение котлована, а упругим основанием – ГЦМ, работающий некоторым образом в составе грунта. Так как выбранная расчетная модель не позволяет оценивать перемещения окружающих зданий, то, учитывая, что перемещения ограждения связаны с осадками зданий, в качестве ограничения на перемещения ограждения была принята величина $S_{max} = 15$ мм. Принципиальное решение применения ГЦМ, которое следует оптимизировать, показано на рисунке 5, а.

В рамках принятой расчетной модели поведение ГЦМ в составе грунта выше дна котлована (рисунок 5, а) может быть описано работой преднапряженных пружин (рисунок 5, б), которые в момент откопки котлована, распрямляясь, снижают первоначальное давление преднапряжения (боковое давление грунта в состоянии покоя q_{01} и q_{02}) на ограждение по линейному закону:

$$q = q_{01} - k * z. \quad (1)$$

Поведение ГЦМ в составе грунта ниже дна котлована может быть описано работой обыкновенных пружин, реакция которых при перемещении ограждения z возрастает от 0 до $k * z$, и суммарное давление на ограждение запишется аналогично (1) и будет складываться из давления грунта в состоянии покоя и реактивного давления ГЦМ:

$$q = q_{02} - q_{01} - k * z. \quad (2)$$

Чтобы перейти к стандартной схеме балки на упругом основании, заметим, что величина, на которую снижается давление пружин на ограждение при разжатии $-k * z$ в формуле (2), является реакцией обыкновенных пружин, расположенных с противоположной стороны при действии на них силы q_{01} . Тогда работа преднапряженных пружин эквивалентна работе обыкновенных пружин под нагрузкой, равной преднапряжению.

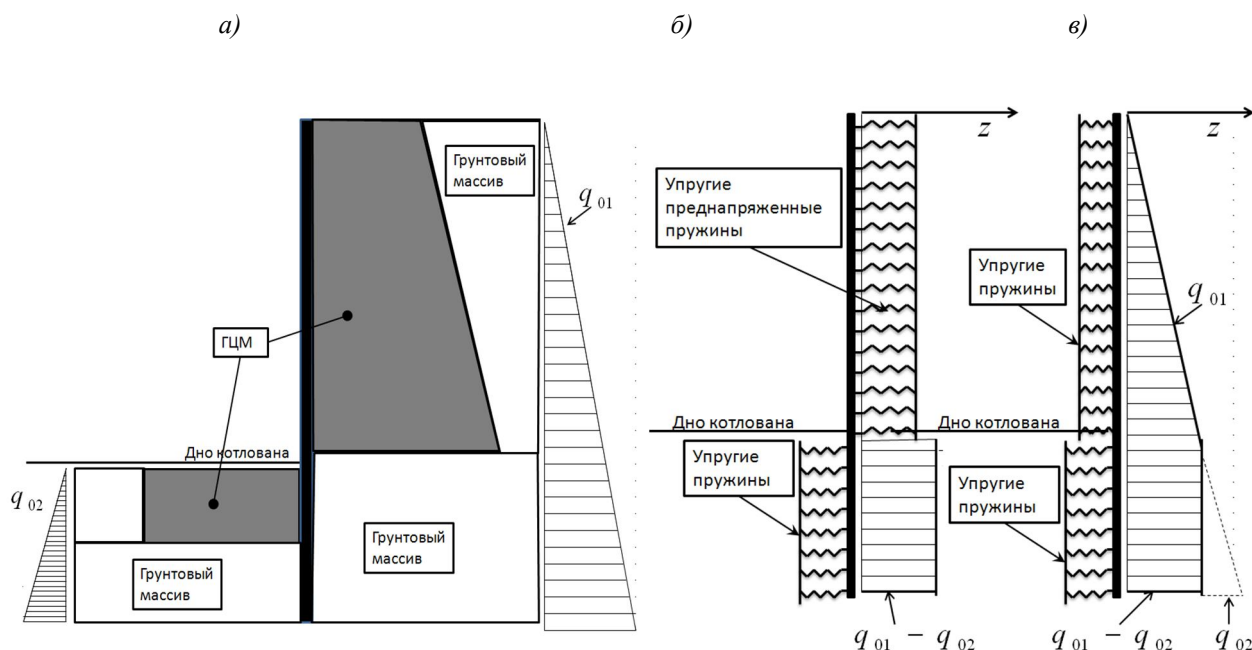


Рисунок 5 – Этапы формирования расчетной схемы

Основываясь на изложенных предпосылках, рассматриваемая задача сводится к задаче о балке на упругом основании (рисунок 5, в), где балкой является ограждение котлована, внешней нагрузкой на балку – боковое давление грунта в состоянии покоя, равное $q_0 = q_{01} - q_{02}$, а коэффициентами упругого основания – коэффициенты жесткости системы «ГЦМ-грунт» k . Здесь предметом оптимизации будут коэффициенты жесткости упругого основания, а далее уже будет производиться переход к размерам ГЦМ, обеспечивающим требуемые минимальные перемещения ограждения.

Таким образом, на основании выбранной расчетной модели, составляется конечно-элементная расчетная схема балки на упругом основании (рисунок 5), где нагрузкой является боковое давление грунта в состоянии покоя, а переменный по высоте, но постоянный для отдельного элемента коэффициент жесткости упругого основания k является варьируемой величиной в задачи оптимального проектирования.

В такой постановке расчет оптимальных размеров ГЦМ делится на два этапа. На первом этапе определяется такая совокупность коэффициентов жесткости основания:

$$k = [k_1, k_2, k_3, \dots, k_n]^T, \quad (3)$$

где n – количество конечных элементов, $n = 30$ (рисунок 6), которая минимизирует функцию цели, определяемую величиной суммарного коэффициента жесткости по всем конечным элементам системы:

$$\psi_0 = \psi_0(k) = \sum_{i=1}^n k_i \rightarrow \min, i = 1 \dots n, \quad (4)$$

при условии, что перемещение ограждения в любой точке:

$$\{z\} = [z_1, z_2, z_3, \dots, z_m]^T, \quad (5)$$

где m – количество узлов; $m = n + 1 = 31$ (рисунок 6) не превысит заранее заданного максимального значения:

$$z_i \leq S_{max} = 15 \text{ мм}, i = 1..n + 1. \quad (6)$$

Для решения поставленной задачи составлен и в программной среде MATLAB v. 7.9.0 реализован поисковый алгоритм на основе метода проекции градиента, где на каждом шаге определяется такое изменение варьируемого коэффициента жесткости δk , при котором функция цели уменьшается в наибольшей мере, а ограничения не нарушаются. Значения градиентов функций цели и ограничений по переменным k , необходимые для построения алгоритма,

определяются на этапе анализа чувствительности проекта в пространстве состояний, описанного в работах [1, 2].

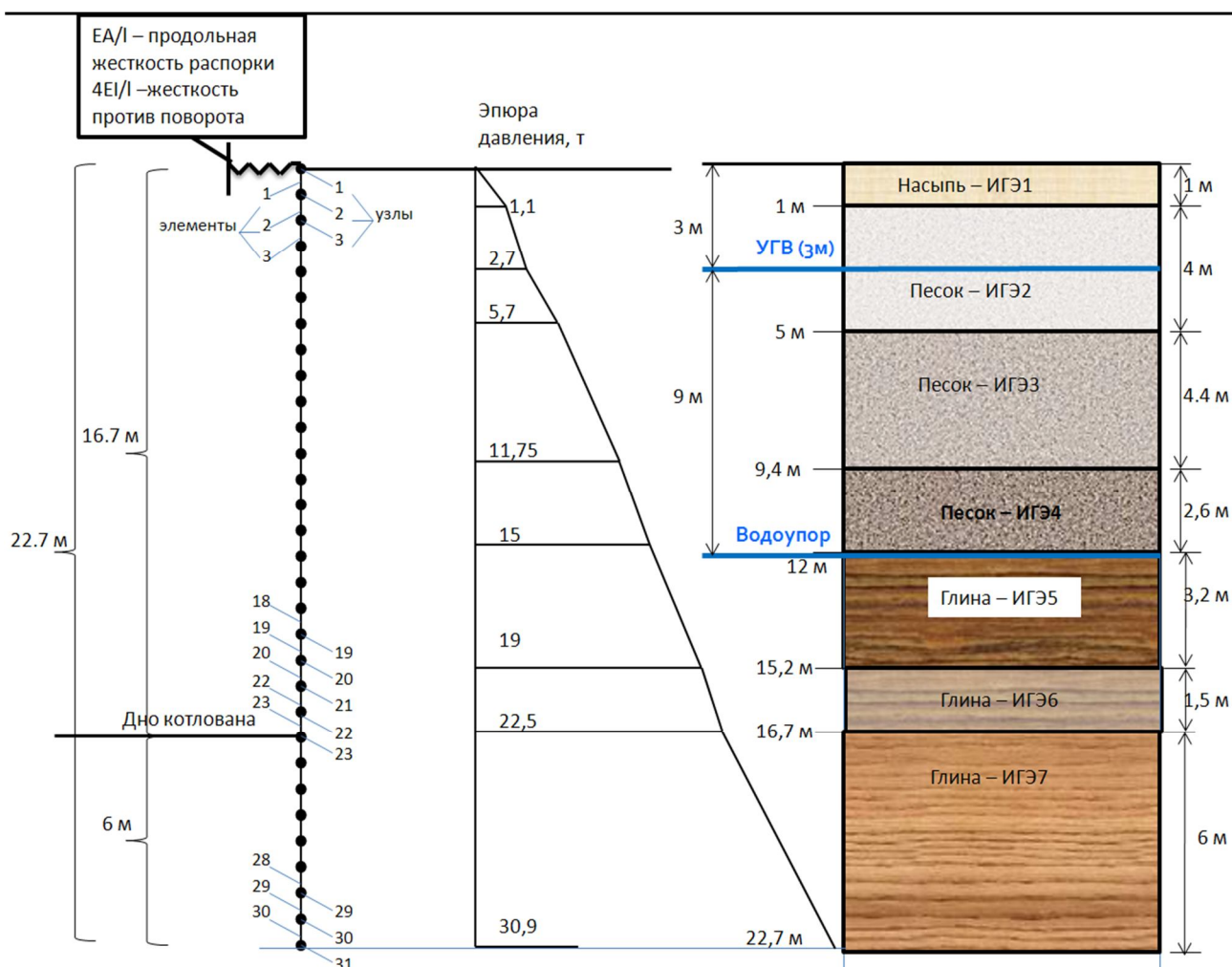


Рисунок 6 – Исходные данные для оптимального расчета

Решение задачи оптимального проектирования на первом этапе включает в себя эпюру перемещений ограждения, эпюру распределения оптимального коэффициента жесткости по высоте ограждения, эпюру реактивного давления, эпюру контактного давления.

Когда определено оптимальное распределение коэффициента жесткости основания k , на втором этапе необходимо определить размеры ГЦМ, отвечающие этой жесткости. Поэтому основными исходными данными для определения оптимальных размеров ГЦМ являются реактивное давление ГЦМ – $r = k * z$, которое должно обеспечить ГЦМ, и перемещение ограждение z , на которое должен переместиться ГЦМ под действием $r = k * z$ со стороны грунта. Расчетные величины r и z определяются на первом этапе расчета.

Таким образом, на втором этапе определяются уже именно размеры ГЦМ, при которых под действием горизонтального давления r ГЦМ получит горизонтальное перемещение z . Расчет оптимальных размеров ГЦМ производится с использованием известных аналитических методик расчета массивных подпорных стен и стандартной теории оптимизации функций при наличии ограничений типа неравенств. Функцией цели здесь будет являться площадь поперечного сечения ГЦМ, а ограничениями – условия устойчивости против сдвига, опрокидывания, а также должны быть наложены ограничения на перемещения ГЦМ z под нагрузкой r .

В результате расчета по описанной схеме для рассматриваемого объекта проектирования были определены оптимальные размеры ГЦМ, представленные на рисунке 7, при которых горизонтальное перемещение ограждения не превышало допустимой величины $S_{max} = 15$ мм.

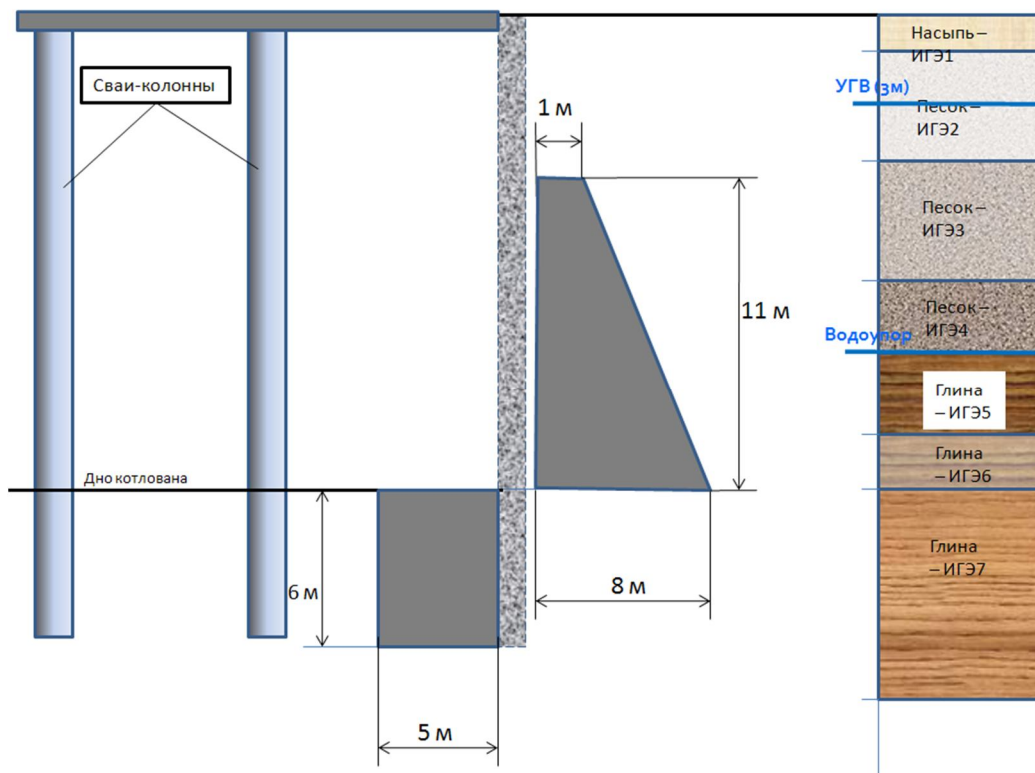


Рисунок 7 – Оптимальные размеры грунтоцементного массива

Для оценки полученного результата проведено численное моделирование в программном комплексе PLAXIS 2D. Расчетная осадка ближайшего здания с учетом полученных размеров грунтоцемента составила 10 мм, что соответствует максимально разрешенной осадке для этого зданий – 10 мм. Сопоставление эпюры перемещений расчетной схемы балки на упругом основании оптимальной жесткости с эпюрой перемещения, полученной в результате моделирования непосредственно размеров ГЦМ (рисунок 8), представлены на рисунке 9. Максимальное значение, полученное в программе PLAXIS, составляет 19 мм, что на 4 мм или 25% больше допустимого 15 мм, для которого определялись оптимальные размеры ГЦМ.

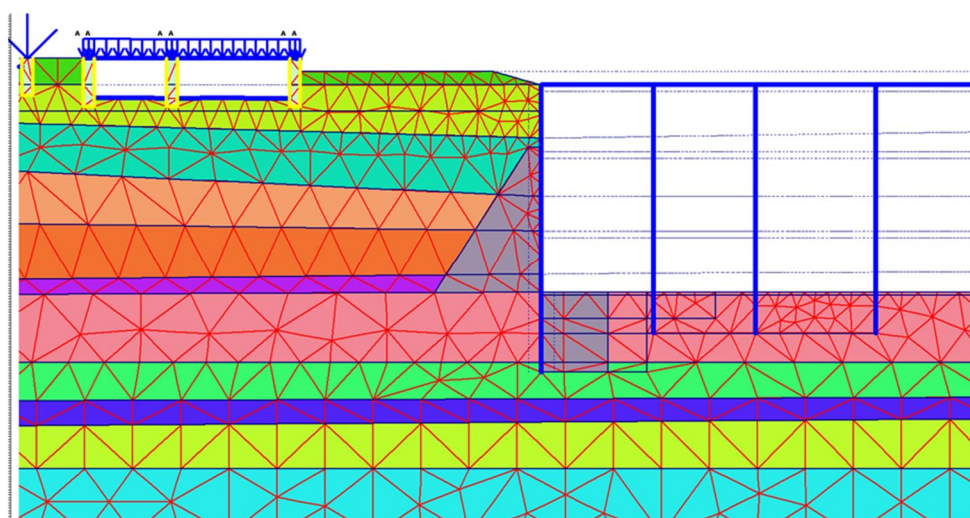


Рисунок 8 – Фрагмент конечно-элементной модели PLAXIS 2D с учетом ГЦМ

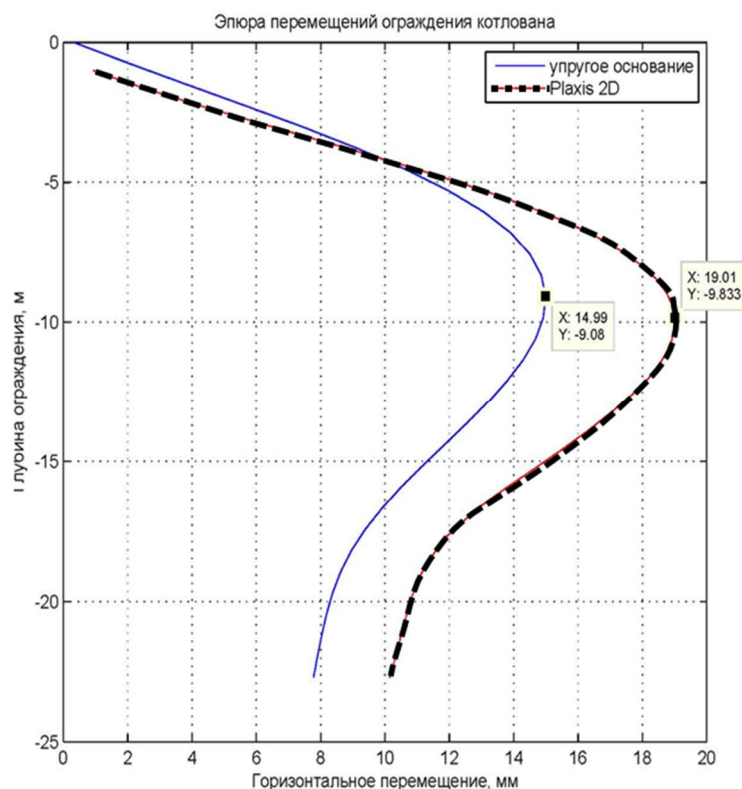


Рисунок 9 – Результаты сопоставления с PLAXIS 2D

Выводы

1. Для решения поставленной задачи разработан расчетный метод, который в себя включает:

- вычислительный поисковый алгоритм оптимального проектирования, который для одномерной конечно-элементной схемы балки на упругом основании определяет оптимальное распределение коэффициентов жесткости упругого основания при ограничении горизонтального перемещения ограждения;

- расчет оптимальных размеров ГЦМ с использованием известных аналитических методик расчета массивных подпорных стен на нагрузку и заданное перемещение, полученное в результате работы поискового алгоритма.

2. С применением предложенного метода расчета определены оптимальные размеры ГЦМ и предложено техническое решение, которое было принято заказчиком для рассмотрения как альтернативный способ устройства подземного пространства, позволяющий в короткие сроки выполнить строительные работы и обеспечить сохранность окружающих зданий без каких-либо дополнительных защитных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хог, Э. Прикладное оптимальное проектирование [Текст] / Э. Хог, Я. Арора: Механические системы и конструкции: Пер с англ. – М.: Мир, 1983. – 478 с.
2. Хог, Э. Анализ чувствительности при проектировании конструкций [Текст] / Э. Хог, К. Чой, Комков: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 428 с.
3. Ильичев, В.А. Расчетное обоснование использования технологии JET-grouting для снижения дополнительных осадок существующего здания от строительства подземного многофункционального комплекса [Текст] / В.А. Ильичев, Ю.А. Готман, В.П. Назаров // Вестник гражданских инженеров. – СПбГАСУ, 2009.
4. Gotman, Yu. A. Variant design of using the jet-grouting technology for reduction the settlements of the existing buildings while construction an underground complex in Moscow [Tekst] / Yu. A. Gotman // Geotechnical engineering 20. View of Young European Geotechnical Engineers. Brno 2010. – С. 134-139.

Ильичев Вячеслав Александрович

АНО АНТЦ РААСН, г. Москва

Доктор технических наук, профессор, научный руководитель АНО АНТЦ РААСН

Тел.: +7 (499) 747-41-76

E-mail: antc@antcraasn.com

Готман Юрий Альфредович

ООО «Подземпроект», г. Москва

Инженер

Тел.: +7 (499) 689-75-30

E-mail: yuriygotman@yandex.ru

ILYICHEV V.A., GOTMAN YU.A.

CALCULATION OF JET-GROUTED SOIL MASSIF OPTIMAL DIMENSIONS FOR REDUCTION THE SETTLEMENTS OF THE EXISTING BUILDINGS WHILE CONSTRUCTION AN UNDERGROUND COMPLEX IN MOSCOW

For deep excavation in dense urban areas often require the use of additional measures that reduce displacements of retaining wall, and respectively, settlements of the surrounding buildings in the process of construction. For these purposes has become increasingly used jet-grouting technology, allowing to create a jet-grouted soil massif of different forms with physical and mechanical properties by several orders of magnitude greater than soil properties. Technology makes possible to form in the soil the construction elements of any form. In this article there is an example of using jet-grouting technology for the stated goals in design process of possible underground space excavation methods for construction the multifunctional complex at Tverskaya Zastva square in Moscow. Basic condition and results of the calculation method, allowing to determine the dimensions" of jet-grouted soil massif, which decreases the displacements of the retaining wall to the required values by the methods of optimum design are given.

Keywords: "top down" excavation method, jet-grouted soil massif, the retaining wall, beam on elastic foundation method, optimum design.

BIBLIOGRAPHY

1. Hog, Je. Prikladnoe optimal'noe proektirovanie [Tekst] / Je. Hog, Ja. Arora: Mehanicheskie sistemy i konstrukcii: Per s angl. – M.: Mir, 1983. – 478 s.
2. Hog, Je. Analiz chuvstvitel'nosti pri proektirovanii konstrukcij [Tekst] / Je. Hog, K. Choj, Komkov: Per. s angl. – M.: Mir, 1988. – 428 s.
3. Il'ichev, V.A. Raschetnoe obosnovanie ispol'zovaniya tehnologii JET-grouting dlja snizheniya dopol-nitel'nyh osadok suvestvujuwego zdaniya ot stroitel'stva podzemnogo mnogofunkcional'nogo kompleksa [Tekst] / V.A. Il'ichev, Ju.A. Gotman, V.P. Nazarov // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. – SPbGASU, 2009.
4. Gotman, Yu. A. Variant design of using the jet-grouting technology for reduction the settlements of the existing buildings while construction an underground complex in Moscow [Tekst] / Yu. A. Gotman // Geotechnical engineering 20. View of Young European Geotechnical Engineers. Brno 2010. – S. 134-139.

Ильичев Вячеслав Александрович

ИНО ASCC RAABS, Moscow

Doctor of technical science, professor, supervisor of studies of ИНО ASCC RAABS,

Ph.: +7 (499) 747-41-76

E-mail: antc@antcraasn.com

Gotman Yury Alfredovich

Open company «Podzemproekt», Moscow

Engineer

Ph.: +7 (499) 689-75-30

E-mail: yuriygotman@yandex.ru

КОРОБКО В.И., КАЛАШНИКОВ М.О.

ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

В статье рассматривается возможность использования коэффициента нелинейных искажений для диагностики состояния и контроля качества железобетонных балок вибрационным методом. Изменяя диаметр рабочей арматуры при одинаковом классе бетона и класс бетона при одинаковом диаметре рабочей арматуры, экспериментально показано, что эта динамическая характеристика конструкции является весьма информативной и более чувствительной к дефектам и повреждениям по сравнению с основной частотой колебаний.

Ключевые слова: железобетонные перемычки, вибрационный способ диагностики, динамический критерий поврежденности конструкций – коэффициент нелинейных искажений.

Неразрушающий вибрационный метод диагностики состояния и контроля качества строительных конструкций является одним из наиболее перспективных методов, который должен найти применение в строительной практике при изготовлении конструкций и обследовании зданий и сооружений. До настоящего времени этот метод не нашел должного распространения в строительстве, хотя предложено достаточно много различных вибрационных способов для определения разнообразных физических параметров конструкций [1]. В этих способах критерием качества в большинстве своем используется основная (или первая резонансная) частота колебаний, которая, как показали многочисленные экспериментальные исследования, является не очень чувствительной к различного рода дефектам и повреждениям.

Определенный прогресс в этом направлении наметился недавно в связи с предложением использовать в качестве нового динамического критерия качества конструкции коэффициент нелинейных искажений [2], который хорошо известен в радиотехнике и используется там для анализа нелинейности электронных систем [3].

Коэффициент нелинейных искажений $K_{ни}$ определяется по формуле:

$$K_{ни} = 100 \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + \dots}{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 \dots}} \approx \frac{100}{A_1} \sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots}, \quad (1)$$

где в нашем случае A_i – амплитуда составляющих гармоник спектра колебаний конструкции. Приведенная в правой части упрощенная формула справедлива для случаев, когда нелинейные искажения невелики ($K_{ни} \leq 10\%$). В указанном диапазоне находятся значения этого коэффициента для реальных железобетонных конструкций балочного типа.

Проверка применимости этого критерия для мелкогабаритных железобетонных перемычек была приведена в статье [2], где была показана его перспективность. В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований для балок-перемычек длиной 2,95 м, изготовленных в опалубке для перемычек марки 2ПБ-26-4.

Были изготовлены две серии железобетонных балок сечением $b \times h = 120 \times 140$ мм. Первая серия (6 балок Б-1...Б-6 по две штуки каждого типа) была изготовлена с одним и тем же классом бетона В15 и различным процентом армирования продольной рабочей арматурой (одним стержнем $d_s = 8, 10, 12, 14, 16$ и 18 мм). Вторая серия (5 балок Б-7...Б11 по две штуки каждого типа) была изготовлена с одним и тем же процентом армирования (одним стержнем $d_s = 12$ мм) и различными классами бетона (В7,5, В15, В20, В22,5 и В30). Балки с классом бетона В15 и рабочей арматурой $d_s = 12$ мм были общими для обеих серий.

Балки готовились на заводе ЖБИ ОАО «Орелгагропромстрой» по техническим условиям изготовления перемычек типа 2ПБ-26-4 с полным и тщательным контролем всех технологических операций службой ОТК завода. Класс бетона контролировался путем испытания ку-

биков, забетонированных при изготовлении балок в возрасте 28 суток. После изготовления балок до их испытаний прошло 1,5 года.

Испытания проводились на стенде, схема которого приводится в ГОСТ 8829-94 [4]. Концы балок опирались на шарнирные опоры. Был осуществлен полный комплекс необходимых статических испытаний балок с определением их жесткости, трещиностойкости и прочности по методике, изложенной в [4]. Загружение балок осуществлялось силикатным кирпичом ступенями в соответствии с требованиями ГОСТ 8829-94 [4].

Одновременно со статическими проводились динамические испытания при возбуждении в балках путем механического удара свободных поперечных и продольных колебаний с измерением основной частоты колебаний и определением логарифмического декремента затухания колебаний. Контроль частоты колебаний балок на разных этапах загрузки осуществлялся с помощью вибрoанализатора «Вибран-2.0».

Помимо указанных испытаний проводилось определение коэффициента нелинейных искажений балок в ненагруженном состоянии при свободных поперечных колебаниях. Амплитуды соответствующих гармоник свободных колебания определялись с помощью вибрoанализатора спектра «Вибран-2.0». Этот прибор имеет запоминающее устройство и связь с компьютером. Поэтому обработка всех спектрограмм осуществлялась на компьютере. Примеры спектрограмм для балок Б-2-1 и Б-6-1 приведены на рисунке 1.

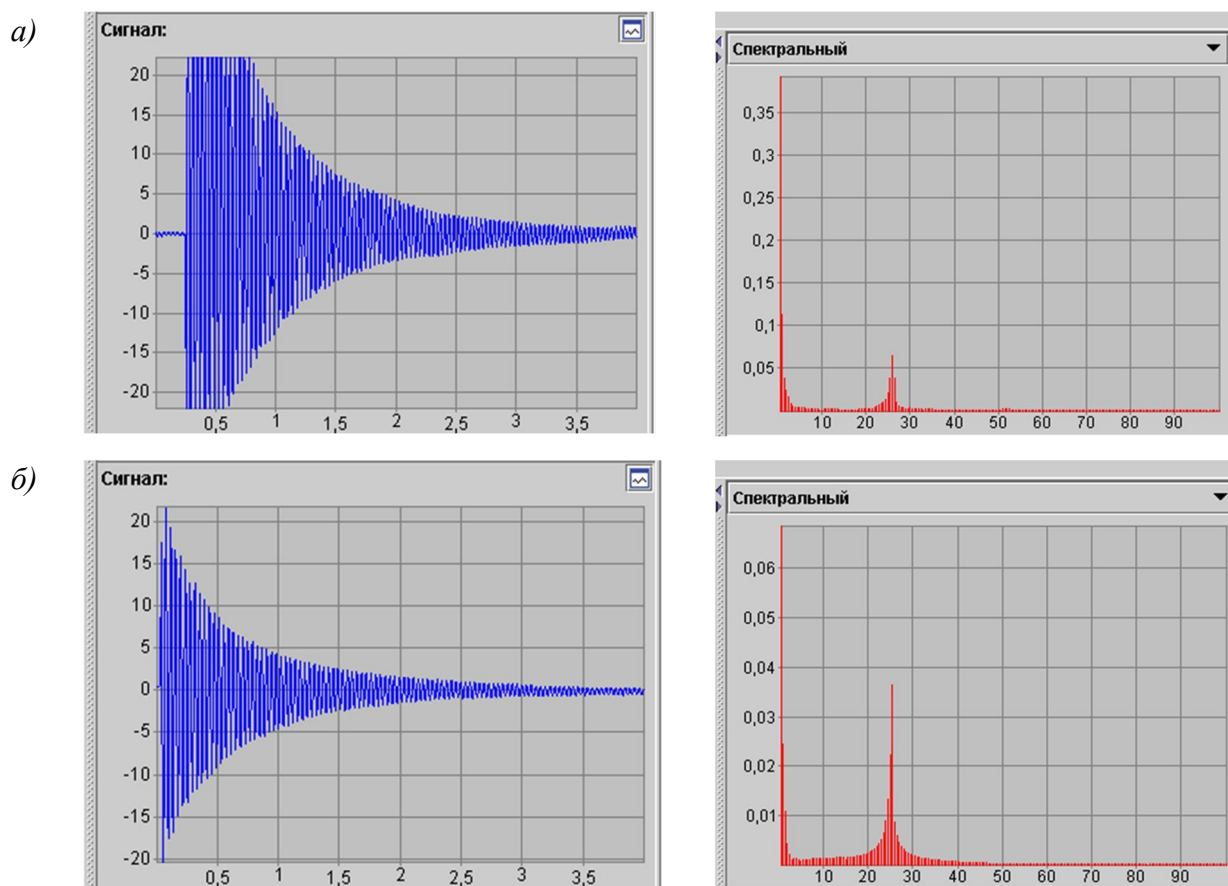


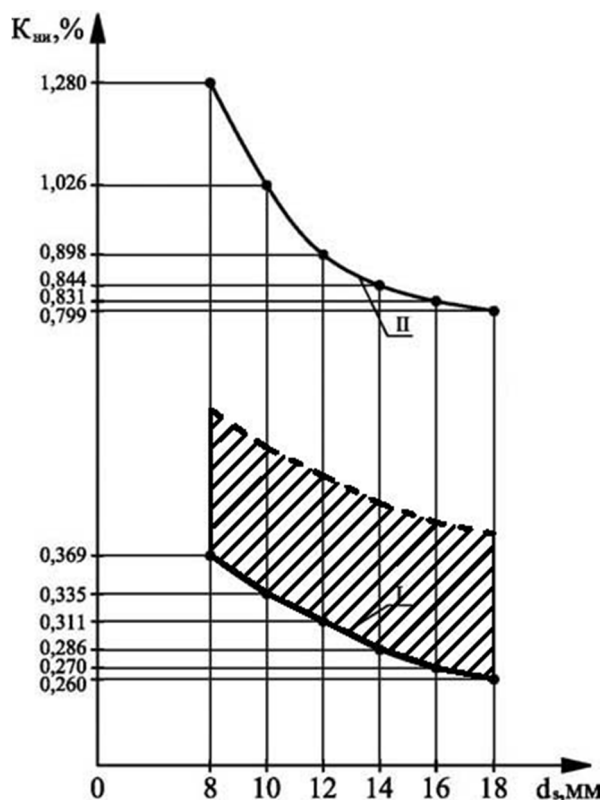
Рисунок 1 – Виброграммы и спектрограммы свободных поперечных колебаний железобетонных балок Б-2-1 и Б-6-1: а – спектрограмма для балки Б-2-1; б – спектрограмма для балки Б-6-1

Данные, полученные при проведении этих экспериментов, обработаны с помощью методов математической статистики, и окончательные результаты представлены в таблице 1 (колонки 2 и 5). На рисунке 2 представлены графики зависимостей $K_{ни} - d_s$, построенные по табличным данным.

Таблица 1 – Экспериментальные зависимости $K_{ни}$ – d_s для железобетонных балок с различными диаметрами рабочей арматуры при классе бетона В15

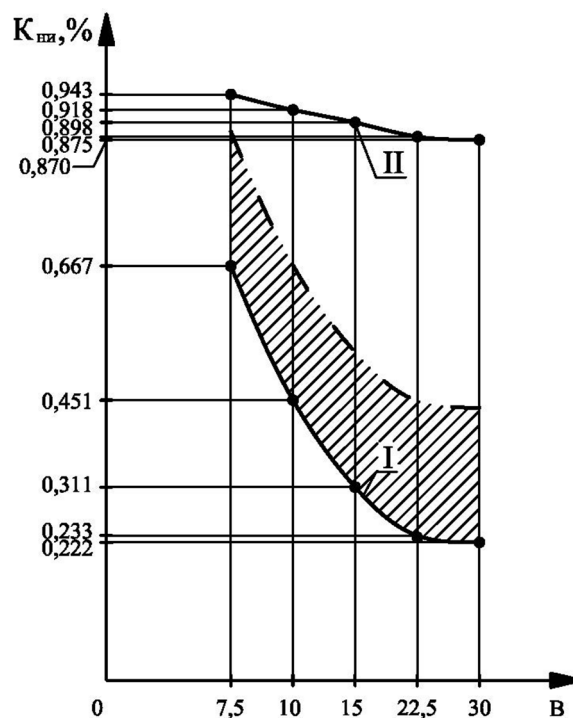
Эталонное изделие, $K_{ни}$			Дефектное изделие, $K_{ни}$		
d_s	Экспериментальные данные	Расчет по аппроксимирующим функциям	d_s	Экспериментальные данные	Расчет по аппроксимирующим функциям
1	2	3	4	5	6
8	0,369	$\frac{0,369}{0,0}$	8	1,280	$\frac{1,282}{0,15}$
10	0,335	$\frac{0,334}{0,30}$	10	1,026	$\frac{1,011}{1,36}$
12	0,311	$\frac{0,309}{0,64}$	12	0,898	$\frac{0,906}{0,89}$
14	0,286	$\frac{0,289}{1,05}$	14	0,844	$\frac{0,854}{1,18}$
16	0,270	$\frac{0,273}{1,11}$	16	0,816	$\frac{0,824}{0,84}$
18	0,260	$\frac{0,260}{0,0}$	18	0,799	$\frac{0,802}{0,38}$

Примечание – В колонках 3 и 6 результат, стоящий в знаменателе, показывает отклонение (%) экспериментальных данных от значений, полученных с помощью аппроксимирующих функций.



I – эталонное изделие; II – дефектное изделие

Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости $K_{ни}$ – d_s для эталонных и дефектных балок при В15



I – эталонное изделие; II – дефектное изделие

Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости $K_{ни}$ – B для эталонных и дефектных балок при $d_s = 12$ мм

По экспериментальным данным построены аппроксимирующие функции:
– для эталонного изделия

$$K_{ни} = \sqrt{0,01264 + 0,9917/d_s};$$

– для дефектного изделия после потери прочности и снятия нагрузки

$$K_{ни} = 1/(1,361 - 37,20/d_s^2).$$

Результаты расчета по этим функциям приведены в таблице 2 (колонки 3 и 6). Как видно из сопоставления экспериментальных данных с результатами, полученными по аппроксимирующим функциям, погрешность теоретических решений не превышает 1,5%.

Анализ графиков на рисунке 2 показывает:

– с ростом диаметра (площади) рабочей арматуры значения $K_{ни}$ уменьшаются (чем добротнее конструкция, тем $K_{ни}$ ниже);

– для конструкций с дефектами и повреждениями значения $K_{ни}$ увеличиваются;

– разница между значениями $K_{ни}$ для добротного и дефектного изделий весьма существенна, что свидетельствует о высокой чувствительности этого параметра к различного рода нелинейностям, вызванным появлением дефектов и повреждений.

В таблице 2 приведены данные эксперимента, отражающие зависимость коэффициента нелинейных искажений от класса бетона.

Таблица 2 – Экспериментальные зависимости $K_{ни} - B$ для железобетонных балок с различными классами бетона при $d_s = 12$ мм

Эталонное изделие, $K_{ни}$			Дефектное изделие, $K_{ни}$		
B	Экспериментальные данные	Расчет по аппроксимирующим функциям	B	Экспериментальные данные	Расчет по аппроксимирующим функциям
1	2	3	4	5	6
7,5	0,667	$\frac{0,668}{0,15}$	7,5	0,943	$\frac{0,943}{0,00}$
10	0,451	$\frac{0,455}{0,89}$	10	0,918	$\frac{0,921}{0,33}$
15	0,311	$\frac{0,303}{2,60}$	15	0,898	$\frac{0,898}{0,00}$
22,5	0,233	$\frac{0,236}{1,29}$	22,5	0,875	$\frac{0,882}{0,80}$
30	0,222	$\frac{0,225}{1,35}$	30	0,870	$\frac{0,878}{0,91}$

Примечание – В колонках 3 и 6 результат, стоящий в знаменателе, показывает отклонение (%) экспериментальных данных от значений, полученных с помощью аппроксимирующих функций.

По экспериментальным данным таблицы построены аппроксимирующие функции:

– для эталонного изделия

$$K_{ни} = 0,1738 + 27,854/B^2;$$

– для дефектного изделия после потери прочности и снятия нагрузки

$$K_{ни} = \sqrt{0,7247 + 1,2326/B}.$$

Как видно из сопоставления экспериментальных данных с результатами, полученными по аппроксимирующим функциям, погрешность теоретических решений не превышает 2,6%.

Анализ графиков, приведенных на рисунке 3, показывает:

– с ростом класса (марки) бетона значения $K_{ни}$ уменьшаются;

– для конструкций с дефектами и повреждениями значения $K_{ни}$ увеличиваются;

– разница между значениями $K_{ни}$ для добротного и дефектного изделий как и в предыдущем случае существенна, что также свидетельствует о высокой чувствительности этого параметра к различного рода нелинейностям, вызванным появлением дефектов и повреждений.

В рассмотренном примере использования коэффициента нелинейных искажений для

диагностики состояния конструкции дефекты балок моделировались изменением диаметра рабочей арматуры и изменением класса бетона. В качестве контролируемого параметра могут быть использованы и другие физические и геометрические характеристики, например, максимальный прогиб балки, контролируемая нагрузка, соответствующая появлению трещин или их раскрытию на заданную нормами величину.

Таким образом, коэффициент нелинейных искажений может служить самостоятельным критерием для интегральной оценки качества железобетонных конструкций, который может учитывать все дефекты и повреждения конструкции как полученные при ее изготовлении, так и приобретенные в процессе эксплуатации. В этом случае область допустимых значений $K_{\text{нн}}$ должна быть ограничена некоторой кривой, которая устанавливается экспериментально для каждого типа конструкции при освоении ее выпуска на заводе-изготовителе. На рисунке 2 такая кривая показана условно пунктирной линией. Область на графике, лежащая между этой и нижней кривыми, является областью допустимых значений $K_{\text{нн}}$. Если измеренное значение $K_{\text{нн}}$ попадает в эту область, то конструкция считается пригодной для эксплуатации, если это значение лежит выше пунктирной кривой – конструкция непригодна для нормальной эксплуатации. Для конструкции конкретного типа может быть указано одно единственное значение $K_{\text{нн}}$. Если этот показатель выше этого значения, то конструкция должна быть забракована.

В многочисленных исследованиях, посвященных диагностике состояния и контролю качества строительных конструкций с помощью вибрационного метода, в качестве критерия интегральной оценки используется основная (или первая резонансная) частота ее колебаний. Для выявления эффективности двух динамических критериев (основной частоты колебаний и коэффициента нелинейных искажений) необходимо провести их сопоставление. Например, эталонная балка Б-8-1 имела основную частоту колебаний 29,1 Гц. После снятия разрушающей нагрузки и проведения динамических испытаний этой же балки частота колебаний стала 26,0 Гц. Отличие этого параметра для эталонной и совершенно непригодной к эксплуатации балок составляет 10,65%. Для этой же балки (см. таблицу 1) значения коэффициента нелинейных искажений соответственно равны 0,311 и 0,898, то есть они отличаются в 2,89 раза. Такое разительное отличие говорит в пользу коэффициента нелинейных искажений. Поскольку диапазон изменения $K_{\text{нн}}$ значительно больше, то его чувствительность к дефектам значительно выше и точность оценок контролируемых параметров качества конструкций существенно повышается.

Выводы

На основе проведенных экспериментальных исследований установлено:

- коэффициент нелинейных искажений, известный в радиотехнике как динамический критерий оценки нелинейности электронных систем, может быть использован для оценки нелинейных свойств строительных конструкций, вызванных появлением дефектов и повреждений как приобретенных в процессе эксплуатации, так и допущенных на этапе изготовления;
- коэффициент нелинейных искажений обладает высокой чувствительностью к различного рода нелинейностям и поэтому позволяет с большей точностью производить оценку контролируемых параметров строительных конструкций;
- анализ экспериментальных данных, полученных с подсчетом коэффициента нелинейных искажений на разных ступенях нагружения конструкции статической нагрузкой, позволяет высказать оптимистическое предположение о том, что с помощью этого нового критерия возможно удастся осуществлять контроль жесткости, трещиностойкости и прочности железобетонных балок;
- необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. Контроль качества строительных конструкций: Виброакустические технологии [Текст] / В.И. Коробко, А.В. Коробко. – М.: АСВ, 2003. – 288 с.
2. Коробко, В.И. Оценка качества железобетонных конструкций балочного типа вибрационным методом

с использованием коэффициента нелинейных искажений [Текст] / В.И. Коробко, Г.В. Слюсарев, М.О. Калашников, О.В. Бояркина // Контроль. Диагностика. – 2007. – № 11. – С. 14-17.

3. Шкритек, П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике [Текст] / П. Шкритек: пер. с нем. – М.: Мир, 1991. – С. 30-42.

4. ГОСТ 8829-94. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытания нагруженным и оценка прочности, жесткости и трещиностойкости [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 24 с.

Коробко Виктор Иванович

ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»

Тел.: +7 (4862) 73-43-95

E-mail: center_epb@mail.ru

Калашников Михаил Олегович

ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»

Тел.: +7 (4862) 73-43-95

E-mail: center_epb@mail.ru

KOROBKO V.I., KALASHNIKOV M.O.

**DETECTING AND QUALITY CONTROL OF REINFORCED
CONCRETE BEAMS WITH USING OF THE NONLINEAR HARMONIC
DISTORTION COEFFICIENT APPLICATION**

The article examines the possibility of nonlinear harmonic distortion coefficient application for detecting the state and quality control of reinforced concrete beams by vibration method. Changing the diameter of the principal reinforcement at equal concrete class and concrete class at equal diameter of the principal reinforcement it is experimentally proved that this construction dynamic characteristic is rather informative and more reactive to the defects and damages in comparison to the basic frequency of vibrations.

Keywords: reinforced concrete link beams, vibration diagnostic method, dynamic criterion of construction damage – nonlinear harmonic distortion coefficient.

BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, V.I. Kontrol' kachestva stroitel'nyh konstrukcij: Vibroakusticheskie tehnologii [Текст] / V.I. Korobko, A.V. Korobko. – М.: ASV, 2003. – 288 s.

2. Korobko, V.I. Ocenka kachestva zhelezobetonnyh konstrukcij balochnogo tipa vibracionnym metodom s ispol'zovaniem koeficienta nelinejnyh iskazhenij [Текст] / V.I. Korobko, G.V. Sljusarev, M.O. Kalashnikov, O.V. Bojarkina // Контроль. Диагностика. – 2007. – № 11. – С. 14-17.

3. Shkritek, P. Spravochnoe rukovodstvo po zvukovoj shemotehnike [Текст] / P. Shkritek; per. s nem. – М.: Мир, 1991. – С. 30-42.

4. GOST 8829-94. Konstrukcii i izdelija betonnye i zhelezobetonnye sbornye. Metody ispytaniya nagruzhennom i ocenka prochnosti, zhestkosti i trewinostjokosti. – М.: Izd-vo standartov, 1985. – 24 s.

Korobko Victor Ivanovich

State university ESPC, Orel

Doctor of technical science, professor of department «Building designs and materials»

Ph.: +7 (4862) 73-43-95

E-mail: center_epb@mail.ru

Kalashnikov Mikhail Olegovich

State university ESPC, Orel

Post-graduate student of department «Building designs and materials»

Ph.: +7 (4862) 73-43-95

E-mail: center_epb@mail.ru

КОРОБКО А.В., ЧЕРНЯЕВ А.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИНОК В ФОРМЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ТРЕУГОЛЬНИКОВ С КОМБИНИРОВАННЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТНОШЕНИЯ КОНФОРМНЫХ РАДИУСОВ

Рассматриваются упругие изотропные пластинки в форме прямоугольных треугольников с комбинациями шарнирного опирания и жесткого защемления по сторонам. Для определения основной частоты их свободных колебаний предлагается использовать в качестве основного аргумента новую безразмерную геометрическую характеристику плоской области – отношение внутреннего и внешнего конформных радиусов. Получены расчетные функции по этому аргументу; построены соответствующие графики для всего множества рассматриваемых комбинаций граничных условий закреплений (6 шт.); указывается на их ограниченность значениями для пластинок с однородными граничными условиями (шарнирное опирание и жесткое защемление по отдельности).

Ключевые слова: *прямоугольные треугольные пластинки, комбинированные граничные условия, свободные колебания, основная частота колебаний, отношение внутреннего и внешнего конформных радиусов.*

Пластинки в форме прямоугольных треугольников находят широкое применение в качестве несущих элементов конструкций в специальном машиностроении (судо-, авиа- и ракетостроении), в строительстве (в настилах косых мостов, автомобильных развязок, продольная ось которых наклонна по отношению к препятствию и др.). Нередко треугольную форму придают днищам бункеров и силосов. В практике закрепления сторон пластинок часто встречаются сварные и болтовые (или заклепочные), которые в расчетных схемах рассматриваются как жесткое защемление и шарнирное опирание соответственно. Иногда в сложных конструкциях эти виды закреплений комбинируют, что затрудняет их расчет.

Проблема обеспечения эксплуатационной надежности любых конструкций (в их числе и пластинок) требует проведения расчета на динамическое воздействие, в котором одной из основных задач является задача определения основной частоты свободных колебаний.

Известно лишь одно точное решение задачи об основной частоте свободных колебаний пластинок в форме прямоугольных треугольников с углами при гипотенузе 30° и 60° шарнирно опертой по контуру [1]. Из приближенных методов для решения рассматриваемой задачи удобно воспользоваться вариационным методом Ритца, разрешающая система уравнений которого приводится в справочнике [2]. Этим методом У. Андерсеном были получены решения основных частот для ряда консольных прямоугольных треугольных пластинок с защемленной меньшей стороной [2]. В настоящее время, как правило, в таких случаях прибегают к численным методам (МКР, МКЭ и др.), реализуемым с помощью ЭВМ, часто внедренным в расчетно-вычислительные программные комплексы (SCAD, STARK ES, APM WinMachine и др.). Несмотря на их эффективность, при расчете пластинок теряется физический смысл задачи и невозможно отследить появление ошибок.

Отдельную группу приближенных методов составляют *геометрические методы*, с давней историей и сутью которых можно ознакомиться, например, в работе [3]. Эти методы позволяют избежать решения дифференциальных уравнений (как вариационные), не требуют мощных ЭВМ (как численные) и дают возможность, не производя расчетов, сравнить интегральные физические характеристики (ИФХ) пластинок (в их числе основная частота колеба-

ний) различных форм по некоторому геометрическому параметру, зависящему только от формы области и не зависящему от ее масштаба.

В предыдущих работах авторов были рассмотрены задачи технической теории пластинок (устойчивость, свободные колебания и поперечный изгиб) с шарнирно опертым и жестко защемленным контуром по отдельности, где в качестве геометрического параметра была использована новая безразмерная характеристика плоской области – *отношение внутреннего и внешнего конформных радиусов* \dot{r}/\bar{r} . Кратко с ее особенностями и преимуществами можно ознакомиться в докладе [4]. Применение этого параметра идет в «адаптации» методики метода интерполяции по коэффициенту формы [5], в котором основным аргументом выступает аналогичная характеристика – коэффициент формы.

«Адаптация» методики МИКФ к решению рассматриваемой задачи заключается в построении кривых «основная частота колебаний – отношение внутреннего и внешнего конформных радиусов», ограничивающих решения для определенного класса форм пластинок и выступающих в роли «опорных», которые в дальнейшем применяются для расчета пластинок сложных форм, получаемых из «опорных» путем каких-либо геометрических преобразований. Подробнее об этих преобразованиях, их классификации и особенностях можно ознакомиться в той же работе [5]. Пластинки в форме прямоугольных треугольников являются характерными, они образуют одну из граничных кривых, которые позволяют получать решения для пластинок в виде произвольного треугольника, а также для пластинок в виде прямоугольной трапеции.

Представим значения основной частоты колебаний в изопериметрическом виде:

$$\omega_o = k_\omega \frac{\sqrt{D/m}}{A}, \quad (1)$$

где k_ω – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы пластинки и ее граничных условий; D – цилиндрическая жесткость; A – площадь; m – масса единицы площади пластинки.

Все множество комбинаций условий шарнирного опирания и жесткого защемления по отдельным сторонам треугольных пластинок (за исключением однородных граничных условий) показано на рисунке 1.

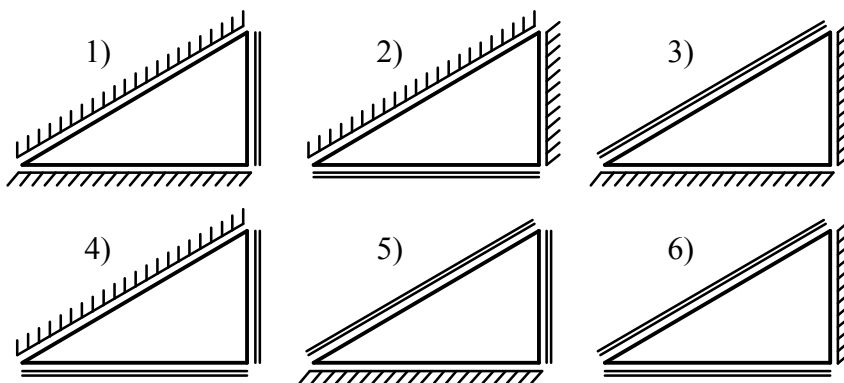


Рисунок 1 – Комбинации граничных условий: «жесткое защемление» – «шарнирное опирание» для пластинок в форме прямоугольных треугольников

Сведем в таблицу 1 значения основной частоты свободных колебаний пластинок, полученные с помощью МКЭ с использованием программного комплекса «SCAD_11.3» (с числом конечных элементов не менее 1000). По табличным данным построим кривые значений обратной величины k_ω в зависимости от отношения \dot{r}/\bar{r} (рисунок 2). На рисунке добавлены кривые для шарнирно опертых (кривая Ш) и жестко защемленных пластинок (кривая Ж), взятые из статьи [6].

Таблица 1 – Сопоставление решений, полученных с помощью МКЭ, с решениями, найденными по аппроксимирующим функциям

α , град \blacktriangleright			10	15	20	25	30	35	40	45
\dot{i}/\bar{r} \blacktriangleright			0,3309	0,4419	0,5284	0,5941	0,6436	0,6771	0,6970	0,7034
«1»	Решение, k_{ω}	[МКЭ]	90,067	66,992	55,503	48,818	44,590	41,861	40,091	39,159
		(2)	90,017	67,056	55,476	48,794	44,554	41,869	40,011	39,070
	Δ , %		-0,06	0,10	-0,05	-0,05	-0,08	0,02	-0,20	-0,23
«2»	Решение, k_{ω}	[МКЭ]	70,556	54,800	47,195	42,994	40,597	39,351	38,873	39,159
		(3)	70,622	54,732	47,236	43,108	40,661	39,406	39,182	39,544
	Δ , %		0,09	-0,12	0,09	0,26	0,16	0,14	0,79	0,98
«3»	Решение, k_{ω}	[МКЭ]	70,263	54,295	46,430	41,963	39,241	37,601	36,715	36,421
		(4)	70,263	54,292	46,423	41,976	39,228	37,599	36,706	36,430
	Δ , %		0,00	0,00	-0,01	0,03	-0,03	-0,01	-0,02	0,02
«4»	Решение, k_{ω}	[МКЭ]	69,516	50,671	42,777	38,248	35,491	33,837	32,905	32,634
		(5)	69,499	50,714	42,712	38,272	35,501	33,834	32,909	32,621
	Δ , %		-0,02	0,09	-0,15	0,06	0,03	-0,01	0,01	-0,04
«5»	Решение, k_{ω}	[МКЭ]	67,882	50,109	41,958	37,179	34,122	32,103	30,797	30,022
		(6)	67,782	50,291	41,881	37,131	34,126	32,177	30,755	30,052
	Δ , %		-0,15	0,36	-0,18	-0,13	0,01	0,23	-0,14	0,10
«6»	Решение, k_{ω}	[МКЭ]	49,911	39,689	34,788	32,119	30,635	29,909	29,713	30,022
		(7)	49,934	39,614	34,795	32,156	30,599	29,804	29,654	29,854
	Δ , %		0,05	-0,19	0,02	0,12	-0,12	-0,35	-0,20	-0,56

Примечания:

1. α – меньший угол при гипотенузе прямоугольной треугольной пластинки;
2. Значения \dot{i}/\bar{r} взяты из статьи [6];
3. Δ – погрешность решений, получаемых по аппроксимирующим функциям.

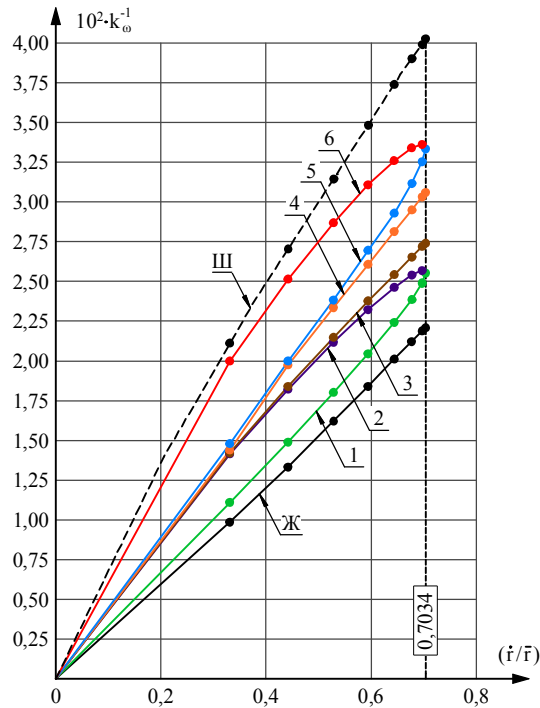


Рисунок 2 – Кривые $k_{\omega}^{-1} - (\dot{i}/\bar{r})$ для пластинок в форме прямоугольных треугольников с комбинациями граничных условий по рисунку 1

С помощью программы «Table Curve_2D» построены следующие аппроксимирующие функции:

для пластинок по схеме 1

$$k_{\omega} = \frac{1 + b(\dot{r}/\bar{r}) + d(\dot{r}/\bar{r})^2}{a + c(\dot{r}/\bar{r}) + e(\dot{r}/\bar{r})^2}, \quad (2)$$

где $a = 0,0008478$; $b = -1,6109$; $c = 0,027457$; $d = 0,29615$; $e = -0,040054$;

для пластинок по схеме 2

$$k_{\omega} = \frac{1 + b(\dot{r}/\bar{r}) + d(\dot{r}/\bar{r})^2}{a + c(\dot{r}/\bar{r}) + e(\dot{r}/\bar{r})^2}, \quad (3)$$

где $a = -0,0014037$; $b = -0,7935$; $c = 0,05757$; $d = -0,8421$; $e = -0,07772$;

для пластинок по схеме 3

$$k_{\omega} = \frac{1 + b(\dot{r}/\bar{r}) + d(\dot{r}/\bar{r})^2}{a + c(\dot{r}/\bar{r}) + e(\dot{r}/\bar{r})^2}, \quad (4)$$

где $a = 0,0031153$; $b = 8,439$; $c = 0,028348$; $d = 3,0728$; $e = 0,42256$;

для пластинок по схеме 4

$$k_{\omega} = \frac{1 + b(\dot{r}/\bar{r}) + d(\dot{r}/\bar{r})^2}{a + c(\dot{r}/\bar{r}) + e(\dot{r}/\bar{r})^2}, \quad (5)$$

где $a = -0,20374$; $b = 66,55$; $c = 1,1787$; $d = -23,022$; $e = 0,9926$;

для пластинок по схеме 5

$$k_{\omega} = \frac{1 + b(\dot{r}/\bar{r}) + d(\dot{r}/\bar{r})^2}{a + c(\dot{r}/\bar{r}) + e(\dot{r}/\bar{r})^2}, \quad (6)$$

где $a = -0,0007237$; $b = -1,3576$; $c = 0,048237$; $d = -0,047078$; $e = -0,06565$;

для пластинок по схеме 6

$$k_{\omega} = \frac{1 + b(\dot{r}/\bar{r}) + d(\dot{r}/\bar{r})^2}{a + c(\dot{r}/\bar{r}) + e(\dot{r}/\bar{r})^2}, \quad (7)$$

где $a = -0,0030123$; $b = -0,31429$; $c = 0,09551$; $d = -1,5061$; $e = -0,12741$.

Функции (2)-(7) могут использоваться для непосредственного расчета пластинок в форме прямоугольного треугольника. Погрешность получаемых решений при использовании этих функций не превышает 1%. В дальнейшем они будут применены в составе разрабатываемого программного комплекса по определению основной частоты свободных колебаний пластинок с использованием нового геометрического аргумента – \dot{r}/\bar{r} , а также к определению основной частоты колебаний пластинок в форме прямоугольных трапеций.

Кроме рассмотренных комбинаций условий закреплений сторон пластинок были рассмотрены также все остальные возможные виды комбинаций: «жесткое защемление» – «свободный край», «шарнирное опирание» – «свободный край» и «жесткое защемление» – «шарнирное опирание» – «свободный край». Кривые и функции аналогичны рассмотренным выше. В статье их не приводим, отметим лишь, что они также будут использоваться в программном комплексе и для расчета прямоугольных трапециевидных пластинок.

Выводы

1. Получены расчетные функции для определения основной частоты свободных коле-

баний пластинок в форме прямоугольных треугольников с комбинациями шарнирного опирания и жесткого защемления по сторонам от параметра \dot{r}/\bar{r} , представленные в изопериметрическом виде.

2. Все множество значений основной частоты свободных колебаний рассматриваемых пластинок с комбинациями их закреплений по сторонам, представленное в координатной плоскости $k_{\omega}^{-1} - (\dot{r}/\bar{r})$, ограничено с двух сторон значениями для пластинок с однородными граничными условиями (шарнирное опирание, жесткое защемление).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. УНИРС для строителей (Учебно-, научно-исследовательская работа студентов): Учебное пособие для вузов [Текст] / В.И. Коробко, А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1998. – 304 с.
2. Биргер, И.А. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. – Т. 3 [Текст] / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1901. – 568 с.
3. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода [Текст] / В.И. Коробко. – М.: АСВ, 1997. – 390 с.
4. Коробко, А.В. Использование отношения конформных радиусов в задачах технической теории пластинок в качестве геометрического аргумента [Текст] / А.В. Коробко, А.А. Черняев // Проблемы оптимального проектирования сооружений: доклады 2-й Всероссийской конференции. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), – 2011. – С. 191-196.
5. Коробко, А.В. Метод интерполяции по коэффициенту формы в механике деформированного твердого тела [Текст] / А.В. Коробко. – Ставрополь: Изд-во Ставропольского университета, 1995. – 165 с.
6. Коробко, А.В. Определение основной частоты свободных колебаний пластинок с использованием конформных радиусов [Текст] / А.В. Коробко, А.А. Черняев // Строительство и реконструкция. – 2011. – №1. – С. 12-18.

Коробко Андрей Викторович

ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
Тел.: +7 (4862) 41-98-46
E-mail: center_epb@mail.ru

Черняев Андрей Александрович

ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: center_epb@mail.ru

KOROBKO A.V., CHERNYAEV A.A.

THE DEFINITION OF THE BASIC FREQUENCY FREE VIBRATIONS OF PLATES IN FORM OF THE RECTANGULAR TRIANGLES WITH COMBINED BOUNDARY CONDITIONS WITH USE OF THE RELATION OF CONFORMAL RADIUSES

In the article considered elastic isotropic plates in the form of rectangular triangles with combined hinge a support and rigid a support on parties. For estimation of the basic frequency free

vibration of plates is suggested use as the basic argument the new dimensionless characteristic of flat area – the relation internal and external of conformal radiuses. Are received settlement functions on this argument; are constructed schedules are drawn for all set of considered combinations of boundary conditions of fastenings (6 pieces); it is underlined their limitation values for plates with homogeneous boundary conditions (hinge a support and rigid a support on parties on separately).

Keywords: *rectangular triangles plates, the combined boundary conditions, free vibration, the basic frequency vibration, the relation internal and external of conformal radiuses.*

BIBLIOGRAPHY

5. Korobko, V.I. UNIRS dlya stroitelej (Uchebno-, nauchno-issledovatel'skaya rabota studentov): Uchebnoe posobie dlya vuzov [Tekst] / V.I. Korobko, A.V. Korobko. – M.: ASV, 1998. – 304 s.
6. Birger, I.A. Prochnost', ustojchivost', kolebaniya. Spravochnik v tryoh tomah. – T. 3 [Tekst] / I.A. Birger. – M.: Mashinostroenie, 1901. – 568 s.
7. Korobko, V.I. Izoperimetricheskij metod v stroitel'noj mehanike: Teoreticheskie osnovy izoperimetricheskogo metoda [Tekst] / V.I. Korobko. – M.: ASV, 1997. – 390 s.
8. Korobko, A.V. Ispol'zovanie otnošenija konformnyh radiusov v zadachah tehnicheckoj teorii plastinok v kachestve geometricheskogo argumenta [Tekst] / A.V. Korobko, A.A. Chernyaev // Problemy optimal'nogo proektirovaniya sooruzhenij: doklady 2-j Vserossijskoj konferencii. – Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), – 2011. – S. 191-196.
9. Korobko, A.V. Metod interpoljicii po koeficientu formy v mehanike deformirovannogo tverdogo tela [Tekst] / A.V. Korobko. – Stavropol: Izd-vo Stavropol'skogo universiteta, 1995. – 165 s.
10. Korobko, A.V. Opredelenie osnovnoj chastoty' svobodny'h kolebanij plastinok s ispol'zovaniem konformny'h radiusov [Tekst] / A.V. Korobko, A.A. Chernyaev // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2011. – №1. – S. 12-18.

Korobko Andrey Victorovich

State university ESPC, Orel

Doctor of technical science, professor of department «Theoretical and applied mechanics»

Ph.: +7 (4862) 41-98-46

E-mail: center_epb@mail.ru

Chernyaev Andrey Aleksandrovich

State university ESPC, Orel

Post-graduate student of department «Building designs and materials»

Ph.: +7 (4862) 73-43-95

E-mail: center_epb@mail.ru

УДК 004.896

ИВАЩУК О.Д.

УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИЕЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматриваются вопросы обеспечения выбора наиболее рациональных управляющих решений в автоматизированных системах управления экологической безопасностью на территории жилой застройки на основе моделирования фактической и прогнозируемой экологической ситуации. Описываются подходы к построению моделей, в том числе модели интегральной оценки экологической ситуации по совокупному состоянию различных компонентов природной среды. Проводится анализ формирования неблагоприятной экологической ситуации на территории жилой застройки в целях определения параметров моделей.

Ключевые слова: модели экологической ситуации, автоматизированная система управления, оценка и прогнозирование, управляющие решения.

Введение

В последние годы строительство жилых домов, в том числе жилых комплексов с развитой инфраструктурой, характеризуется высокими темпами роста. На диаграммах рисунков 1-3 на примере Орловского региона показано, что даже с учетом экономического кризиса с каждым годом растет численность строительных организаций всех форм собственности, увеличивается объем работ в сфере строительства и расширяется общая площадь введенных в действие жилых домов (использованы данные статистики [1]).

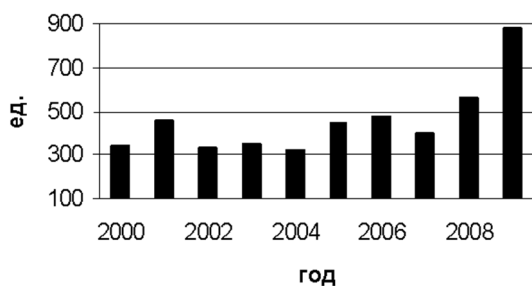


Рисунок 1 – Число действующих строительных организаций всех форм собственности в Орловской области (2000-2009 гг.)

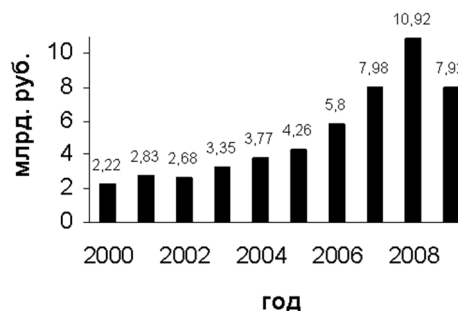


Рисунок 2 – Объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство» в Орловской области (2000-2009 гг.)



Рисунок 3 – Ввод в действие жилых домов в Орловской области (период 2000-2009 гг.)

При этом территория жилой застройки часто оказывается в зоне негативного техногенного влияния, которое создается различными промышленными предприятиями и транспортом. Это выбросы токсичных и канцерогенных веществ в атмосферный воздух, изменение качества акустической среды, загрязнение природных вод, деградация земель, скопление отходов, угнетение растительного мира и др.

Вышесказанное определяет необходимость осуществления эффективных регулирующих мероприятий, направленных на поддержание приемлемого (для жизни и здоровья населения) уровня качественного состояния компонентов природной среды, особенно воздушного бассейна, на территориях существующей и планируемой жилой застройки. Эти мероприятия должны быть рациональными как с экономической, так и с экологической точки зрения, то есть их результат следует оценивать с позиции природы, общества и самих объектов экономики. Сегодня ученые серьезно озабочены вопросами обеспечения комфортного существования городов [2], которые должны быть удобны для жителей, оптимальны по своей структуре, использованию трудовых, материально-финансовых ресурсов, с территорией, безопасной для здоровья и жизнедеятельности проживающего и работающего в них населения.

В работах [3-5] представлены результаты построения обобщенной модели автоматизированной системы управления экологической безопасностью (АСУ ЭБ) и концептуальной модели самой экологической безопасности как объекта управления. На их базе можно разрабатывать конкретные АСУ ЭБ на различных территориях, в том числе с жилой застройкой. Следует при этом отметить, что выводы о состоянии экологической безопасности, на основе которых в АСУ вырабатываются управленческие решения, строятся по результатам оценки сложившейся и прогнозируемой экологической ситуации. Поэтому одной из важнейших актуальных задач, которую необходимо решить при организации и обеспечении эффективного функционирования АСУ данного класса, является оперативное построение адекватных моделей фактической (сформированной на данный момент), прогнозируемой и требуемой (желаемой) экологической ситуации на рассматриваемой территории. Результаты использования данных моделей – основа для формирования альтернативных сценариев управления по снижению (ликвидации) негативной техногенной нагрузки на природную среду жилых комплексов с выбором наиболее рациональных из них (и с экологической, и экономической точки зрения). Они позволяют интеллектуализировать работу АСУ, всех ее основных компонентов.

1. Подходы к оценке экологической ситуации в АСУ экологической безопасностью

Для качественной и/или количественной оценки тенденций изменения состояния окружающей среды, происходящего при воздействиях техногенных источников, во всех промышленных странах мира используются характеристики, называемые экологическими критериями или индикаторами [6]. Они делятся на следующие группы: природоохранные (сохранение целостности экосистем), антропоэкологические (воздействие на человека, его популяции), ресурсно-хозяйственные (воздействие на всю систему «общество-природа»), социоэкономические (результатирующая оценка благополучия экономической системы и качества жизни). Сегодня имеет место существенный разброс, определяемый спецификой экологических проблем, сформированных на конкретной территории. В России абсолютно доминируют индикаторы воздействия на окружающую среду.

Таким образом, для оценки экологической ситуации в АСУ ЭБ, прогноза ее изменений, происходящих при воздействии различных техногенных источников, необходимо выбрать определенные показатели – характеристики качества компонентов природной среды. При организации максимально результативной работы АСУ на определенной территории такой выбор должен происходить в соответствии со следующими требованиями:

- касаться тех компонентов природной среды, которые наиболее подвержены негативному воздействию со стороны техногенного комплекса, действующего на рассматриваемой территории;
- отражать поведение тех загрязняющих веществ и (или) физических видов загрязнения, которые представляют наибольшую опасность для населения данной местности в силу

больших объемов их выделения, токсичных свойств, особенностей переноса, способности накапливаться, устойчивости к разрушению.

Определим следующие виды требуемых моделей экологической ситуации (обозначим M – множество всех моделей):

- математические и/или компьютерные модели, позволяющие определять значение показателей качественного состояния выбранных компонентов природной среды в зависимости от факторов, определяющих формирование неблагоприятной экологической ситуации на рассматриваемой территории (подмножество M_1);

- электронные карты, специально сформированные в удобном и наглядном для интерпретации виде, демонстрирующие результаты пространственно-временного и сравнительного анализа экологической ситуации на рассматриваемой территории (подмножество M_2).

На приведенных ниже схемах рисунка 4 показано возможное применение соответствующих моделей при функционировании двух основных составляющих АСУ ЭБ: *системы экомониторинга*, осуществляющей сбор экологической информации и ее предварительный анализ (схема 4, а), и специальной *информационно-аналитической системы*, осуществляющей оценки, прогнозы, пространственно-временной анализ, формирование альтернативных сценариев управления (схема 4, б). Динамичное создание и использование моделей экологической ситуации позволяет интеллектуализировать функционирование АСУ ЭБ и ее указанных подсистем, обеспечивая адаптивное управление самой экологической ситуацией на территории жилой застройки (как существующей, так и планируемой). При этом данные схемы отражают образование двух внутренних контуров управления в АСУ ЭБ.

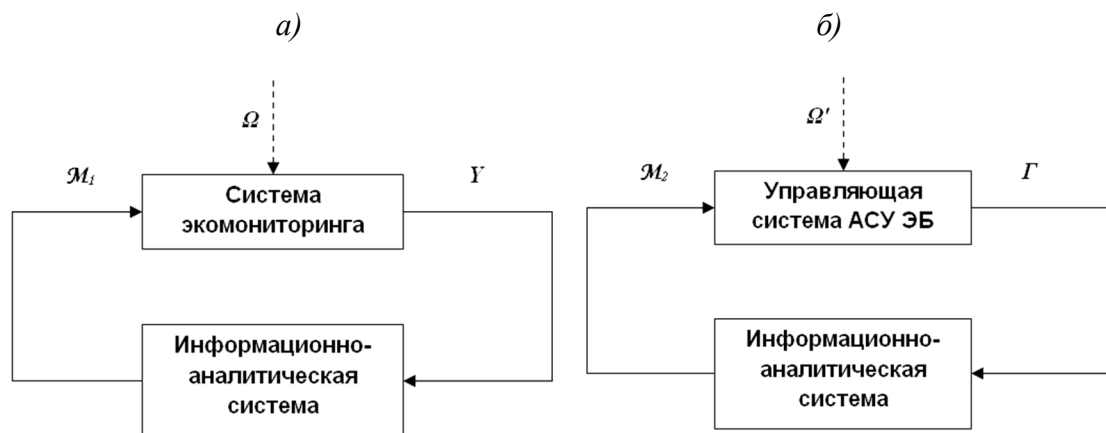


Рисунок 4 – Внутренние контуры управления АСУ ЭБ, образованные с использованием моделей экологической ситуации

В первом контуре (4а) система экомониторинга выступает объектом управления, множество M_1 – управляющий сигнал, Ω определяет внешние воздействия на систему экомониторинга, компоненты множества Y являются сигналами обратной связи (результат сбора информации о показателях качества природной среды, параметрах стационарных и подвижных объектов техногенного комплекса и параметрах внешних воздействий).

Во втором контуре (4б) объектом управления является управляющая система АСУ ЭБ. Компоненты множества M_2 представляют собой составляющие управляющего сигнала, потоки обратной связи Γ (поступающие в информационно-аналитическую систему) – это результаты выбора для практической реализации конкретных сценариев управления, рациональных как с экологической, так и с экономической точки зрения (в данной сложившейся ситуации). Множество Ω' в данном контуре характеризует внешние воздействия на объект управления.

Математические и компьютерные модели формируются именно в информационно-аналитической системе.

2. Интегральная оценка экологической ситуации в АСУ экологической безопасностью

Следует особо отметить, что оценка экологической ситуации в АСУ ЭБ станет действительно реальной основой для выработки рациональных управленческих решений, когда это будет оценка совокупного состояния различных компонентов природной среды. Это очень важно для обеспечения правильного выбора из множества представленных альтернативных сценариев управления. Изменение одних и тех же параметров какого-либо объекта техногенного комплекса может по-разному повлиять на изменение качественного состояния различных компонентов природной среды. Однако обеспечение требуемого состояния экологической безопасности связано с удержанием в области допустимых состояний одновременно показателей качества всех оставляющих природного комплекса на рассматриваемой территории, изменения которых определяют формирование неблагоприятной экологической ситуации.

Инструментальным воплощением указанного принципа является специализированная модель, позволяющая проводить экспертную интегральную оценку экологической ситуации. Подобная модель является синтезирующей: ее решения синтезируются на основе отдельных элементов знаний. Эти знания, в свою очередь, есть результат либо экспериментальной (натурные измерения), либо теоретической (математическое моделирование на основе моделей из множества \mathcal{M}) оценки отдельных показателей качества каждого из выбранных для контроля компонентов природной среды. Для создания такой модели предлагается применение аппарата нечеткой логики, который в последнее время находит все более широкое практическое применение для решения задач управления и принятия решений.

Итак, подвергаемая оценке сложившаяся или прогнозируемая экологическая ситуация, сформированная на рассматриваемой территории жилой застройки, будет описываться лингвистической переменной $\langle S, T, B, R, H \rangle$, где $S = \langle \text{«экологическая ситуация»} \rangle$.

T – терм-множество переменной S , т.е. множество значений лингвистической переменной, областью определения каждого из которых является числовое множество B . При этом $T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5\}$, где для описания экологической ситуации введем следующие термы:

$T_1 = \langle \text{«благоприятная»} \rangle$, когда все показатели качества компонентов природной среды, по совокупному состоянию которых оценивается экологическая ситуация, соответствуют их приемлемым значениям (ПДК, ПДВ и т.п.).

$T_2 = \langle \text{«относительно опасная»} \rangle$, когда загрязнение нескольких из рассматриваемых компонентов природной среды превышает допустимый уровень, но отклонения от нормы не являются устойчивыми (в пространстве и во времени);

$T_3 = \langle \text{«опасная»} \rangle$, когда загрязнение всех рассматриваемых компонентов природной среды превышает допустимый уровень, но без образования устойчивых экологически опасных зон; или когда загрязнение только некоторых из них превышает допустимый уровень, но отклонения от нормы являются значительными и способствуют образованию устойчивых экологически опасных зон;

$T_4 = \langle \text{«очень опасная»} \rangle$, когда все рассматриваемые характеристики качества компонентов природной среды не соответствуют допустимым значениям и при этом отклонения от нормы некоторых из них являются значительными и способствуют образованию устойчивых экологически опасных зон;

$T_5 = \langle \text{«критическая»} \rangle$, когда загрязнение всех рассматриваемых компонентов природной среды значительно превышает допустимый уровень с образованием устойчивых экологически опасных зон;

B – набор количественных характеристик, на основании которых возможно определить принадлежность экологической ситуации к значениям, входящим в T ;

R – синтаксические правила, порождающие название термина. Элементы множества R предназначены для обеспечения возможности формирования новых значений S , детализирующих экологическую ситуацию. Так, на основе комбинаций $t \in T$ и $r \in R$, могут быть введены

дополнительные значения множества T . Например, при $R = \{\langle \text{не} \rangle, \langle \text{более менее} \rangle\}$ экологической ситуации могут быть приданы следующие лингвистические значения: «неблагоприятная», «неопасная», «не очень опасная», «более-менее нормальная» и т.п.;

H – семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами R .

Нечеткие множества, полученные с помощью семантических правил H , характеризуются простотой определения функций принадлежности, для расчета которых не требуется применение специализированных методов, а достаточно использовать простые математические операции. Например, если квантификатору $\tau \in T$ соответствует функция принадлежности $\mu_r(\tau) \in [0,1]$, которая ставит в соответствие значению $b \in B$ число из интервала $[0,1]$, характеризующее степень принадлежности b к терм-множеству $\tau \in T$, то квантификатору $\text{не } \tau$ ($r = \text{не}$) соответствует функция принадлежности $1 - \mu_r(\tau)$. Фактически это позволяет формализовать процедуру выбора наиболее подходящей экологической ситуации по вербальным характеристикам качественного состояния рассматриваемых компонентов природной среды.

В характеристике термов переменной S уже отражена интегральная оценка экологической ситуации по совокупности значений показателей качества различных компонентов природной среды, подвергаемых негативному техногенному воздействию на рассматриваемой территории. Принимаемые решения по регулированию экологической ситуации будут опираться именно на результаты интегральной оценки. Таким образом, целесообразно использовать понятие составной лингвистической переменной. В этом случае процесс классификации экологической ситуации разбивается на анализ взаимодействия ряда частей, которые будут включены в состав лингвистической переменной «экологическая ситуация», что позволит сформировать зависимость результата от комбинаций элементов данной переменной (синтезировать результат).

Для задания подобных многомерных зависимостей строится набор условных правил логического вывода «если «набор условий», то «вывод». Это совокупность соответствующих предикатных правил вида:

$$\begin{aligned}
 & \text{если } (s_1 = a_{11}) \text{ и } (s_2 = a_{21}) \text{ и } \dots \text{ и } (s_J = a_{J1}) \\
 & \text{или } (s_1 = a_{12}) \text{ и } (s_2 = a_{22}) \text{ и } \dots \text{ и } (s_J = a_{J2}) \\
 & \dots \\
 & \text{или } (s_1 = a_{1n}) \text{ и } (s_2 = a_{2n}) \text{ и } \dots \text{ и } (s_J = a_{Jn}) \\
 & \dots \\
 & \text{или } (s_1 = a_{1N}) \text{ и } (s_2 = a_{2N}) \text{ и } \dots \text{ и } (s_J = a_{JN}) \\
 & \text{то } y = c_i,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где a_{jn} – нечеткий терм (например, *пониженный*, *повышенный*, *значительный* и т.п.), которым оценивается лингвистическая переменная $s_j \in S$ (например, *уровень загрязнения воздушного бассейна*, *уровень загрязнения природных водных ресурсов* и т.п.) в правиле под номером n ; $j = 1, \dots, J$, где J – количество лингвистических переменных; $n = 1, \dots, N$, где N – количество правил; $y = (c_1, \dots, c_I)$ – значения нечеткого логического вывода (например, *нормальная*, *относительно опасная*, *опасная*, *очень опасная*, *критическая*), представляющие собой оценку экологической ситуации по интегральному показателю, определяемому при синтезе знаний о состоянии каждого из рассматриваемых компонентов природной среды; $i = 1, \dots, I$, где I – количество значений нечеткого логического вывода.

Каждому численному значению специально введенной характеристики (экспериментально измеренному или спрогнозированному с применением моделей), определяющей уровень загрязнения конкретного компонента природной среды при воздействии на него техногенного комплекса, ставится в соответствие степень принадлежности к терму a_{jn} согласно

заданной определенным образом функции принадлежности μ_{a_j} . Для каждой нечеткой переменной $s_j \in S$ задано определенное количество нечетких термов K_j , которыми она оценивается. Зключения правил о принадлежности сложившейся (или прогнозируемой) экологической ситуации к определенному терму также осуществляются согласно заданным функциям принадлежности $\mu_{c_1}, \dots, \mu_{c_l}$.

При построении функции принадлежности следует использовать обобщенные знания и опыт экспертов – специалистов в предметной области, данные официальной статистики и специально организованного мониторинга. Они дают необходимую информацию об условиях формирования экологической ситуации на конкретной территории, на которой функционируют определенные техногенные объекты (особенно об условиях возникновения экологически опасных зон, устойчивых в пространстве и во времени).

Возможность синтеза знаний о состоянии каждой из выбранных для контроля компонентов природной среды и осуществления интегральной оценки экологической ситуации заложена в принципах проведения нечеткой импликации на этапах формирования общего логического вывода.

Оценка состояния каждой выбранной компоненты природной среды проводится на основе применения моделей из введенных выше множеств M_1 и M_2 . Для построения данных моделей необходимо выявить факторы, определяющие формирование неблагоприятной экологической обстановки.

3. Факторы, определяющие формирование неблагоприятной экологической ситуации на территории жилой застройки

Как показано на рисунке 5, формирование неблагоприятной экологической ситуации на территориях с жилой застройкой связано прежде всего (составляющие группы IV) с образованием зон накопления в атмосферном воздухе вредных примесей, где концентрация токсичных и канцерогенных веществ превышает предельно-допустимые значения (блок IV.1) и зон акустического дискомфорта, в которых уровень шума превышает санитарно-гигиенические нормы (блок IV.2), а также с образованием насыщенного вредными веществами поверхностного стока (ливневые, талые и поливомоечные сточные воды), загрязняющего городские ландшафты и природные водные объекты (блок IV.3) и с загрязнением и деградацией земель на рассматриваемой территории (блок IV.4).

Состояние различных компонентов природной среды, а также уровень и устойчивость (размеры экологически опасных зон, периодичность их возникновения, продолжительность) сформированной (прогнозируемой) неблагоприятной экологической ситуации определяются следующими факторами (составляющие группы II): объемами и составом загрязнений, поступающих в воздушный бассейн (блок II.1); величиной эквивалентного уровня производственного или транспортного шума (блок II.2); количеством и структурой загрязнений, попадающих в поверхностный сток (блок II.3) и на почву (блок II.4).

Непосредственные значения параметров в блоках группы II зависят от различных технических и технологических параметров объектов промышленности и транспорта, оказывающих негативное влияние на окружающую среду рассматриваемой территории (группа I).

К техническим параметрам относятся технические характеристики источников выбросов и физического воздействия (стационарных объектов и транспорта), характеристики сооружений, выполняющих функцию уменьшения вредного воздействия (например, очистных сооружений) и др. Технологические параметры включают в себя характеристики технологических процессов, тип и расход используемого сырья и материалов, вид оборудования, объемы выпускаемой продукции, структуру и интенсивность транспортного потока и др. Каждый из этих параметров связан с различными способами образования вредных воздействий, и именно из них выбираются управляемые параметры при выработке и реализации управляющих решений по снижению негативного воздействия техногенного комплекса данного региона на его жилую территорию.

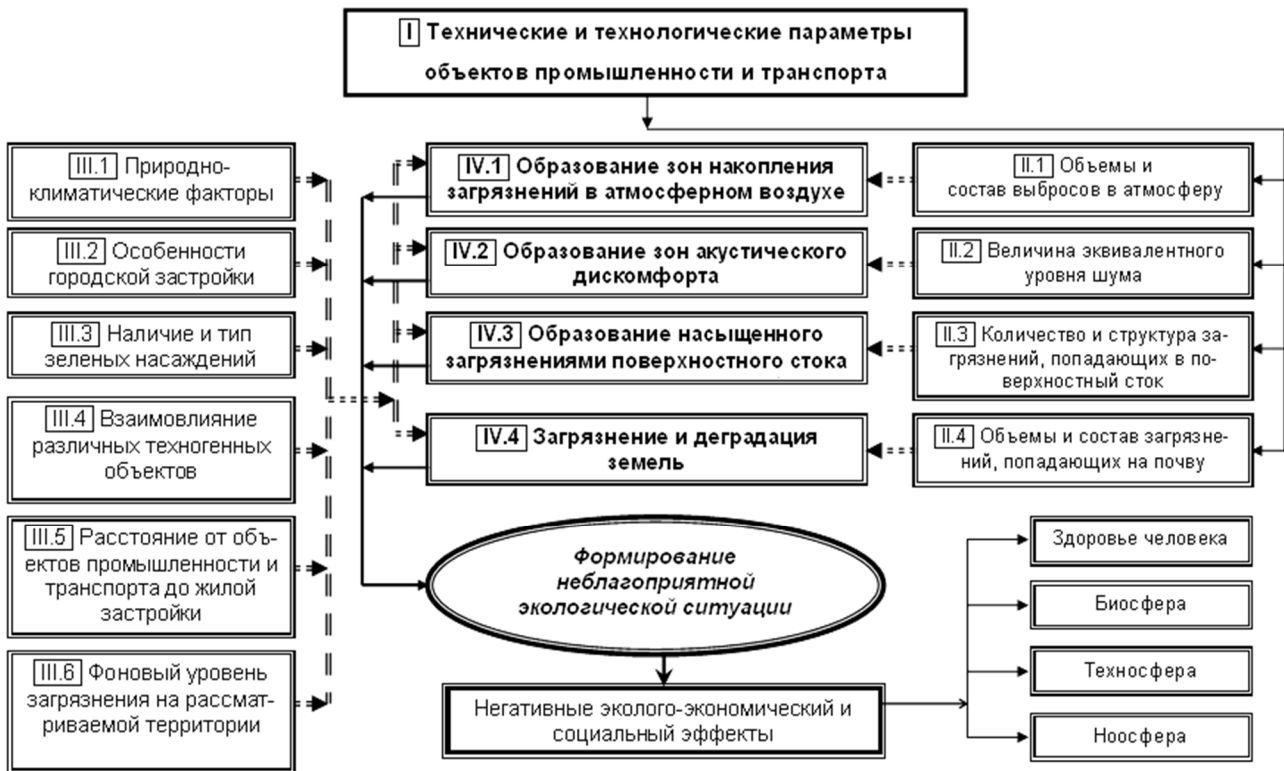


Рисунок 5 – Системное представление формирования неблагоприятной экологической ситуации на территории жилой застройки

На формирование размеров зон неблагоприятной экологической ситуации, их количественные и качественные характеристики прямое влияние оказывают различные *внешние факторы* (блоки группы III):

III.1 – *Природно-климатические факторы* такие, как метеорологические условия (скорость ветра, стратификация атмосферы, туманы, осадки, солнечная радиация), а также рельеф местности.

III.2 – *Особенности городской застройки*, которые значительно влияют на распространение и накопление вредных веществ в природной среде. Например, рассеивание вредных примесей в приземном воздушном слое застроенных территорий имеет свои характерные особенности и существенно отличается от аналогичных процессов, наблюдаемых над протяженной земной или водной поверхностью. Препятствия в виде городских строений, встречающиеся на пути распространения воздуха, становятся причиной возникновения *циркуляционных зон*, которые характеризуются слабым воздухообменом с окружающим воздухом и развитой циркуляцией по замкнутым контурам. Это приводит к тому, что загрязняющие вещества, попадающие в подобные области (чему способствует пониженное в них давление), накапливаются до концентраций, превышающих ПДК. Сплошная высотная застройка городских улиц создает условия, когда воздушные потоки в нижней тропосфере практически отсутствуют, что приводит к значительному скоплению и застою вредных примесей в приземных слоях.

III.3 – *Наличие и тип зеленых насаждений*, которые оказывают газозащитный и шумозащитный эффекты, связанные с предотвращением распространения вредных примесей и негативной звуковой энергии в среду обитания человека. Эти эффекты зависят от способа озеленения, пород деревьев и кустарников, времени года.

III.4 – *Взаимовлияние различных техногенных объектов*, которое необходимо учитывать при оценке и прогнозировании результатов загрязнения природной среды на территории жилой застройки, находящейся под воздействием нескольких промышленных предприятий и автодорог.

III.5 – Расстояние от техногенного источника до границы жилой застройки.

III.6 – Фоновое состояние рассматриваемых компонентов природной среды на данной территории определяется как природными, так и антропогенными факторами.

Для густонаселенных городских территорий наиболее динамичными и приоритетными источниками негативного техногенного воздействия на окружающую среду являются передвижные объекты (потоки автотранспорта). При этом загрязнения, поступающие от стационарных промышленных объектов (количество которых определяется установленными нормативами ПДС, ПДВ и т.п.), можно при рассмотрении определенного периода времени отнести к фоновым антропогенным.

Конечными результатами формирования неблагоприятной экологической ситуации являются негативные изменения, происходящие в здоровье населения и в условиях протекания естественных процессов (в биосфере), в техносфере (в качественном состоянии жилых зданий и дворовых территорий), а также в ноосфере (генетические изменения, появление все большей доли новорожденных с отклонениями от нормы и т.п.).

4. Классификация управляющих воздействий по регулированию экологической ситуации при функционировании АСУ экологической безопасностью

Возможно несколько направлений выработки в АСУ ЭБ конкретных управленческих воздействий по регулированию неблагоприятной экологической ситуации, сложившейся (прогнозируемой) на территориях жилой застройки. Они показаны на схеме рисунка 6.

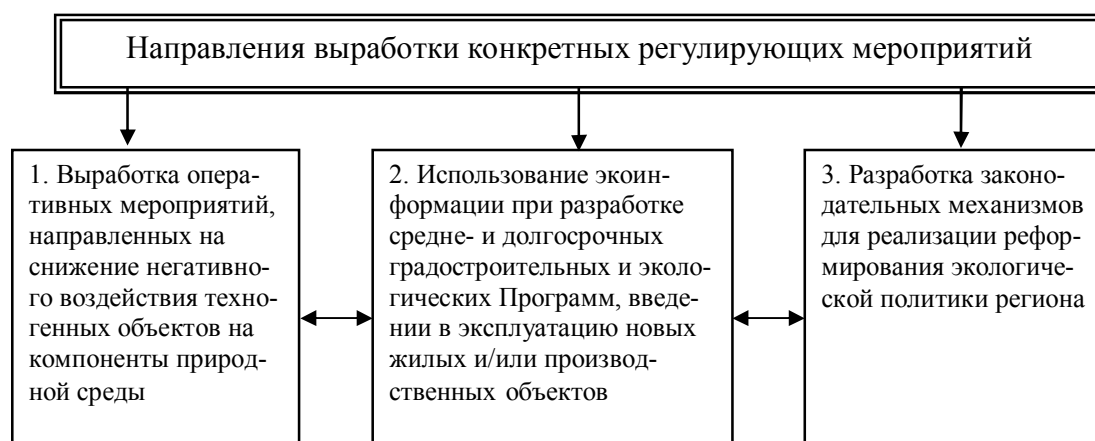


Рисунок 6 – Схема направлений выработки конкретных управляющих воздействий

Реализация направления, отмеченного блоком 1 (реализация оперативных регулирующих мероприятий), связана с варьированием различных технических и технологических параметров объектов промышленности и транспорта (группа I на схеме рисунка 5).

Они являются компонентами некоторого множества Z и определяют мощность эмиссии загрязнений (химических и/или физических), которые поступают в окружающую среду непосредственно от техногенных объектов. Среди данных факторов необходимо выделить реально управляемые и подвижные с точки зрения возможности выработки конкретных оперативных решений, регулирующих сложившуюся экологическую ситуацию, не требующих ни изменений инфраструктуры города, ни принципиального изменения параметров производственных процессов стационарных объектов, ни принципиального обновления автопарка ($z_{опер.} \subset Z$). Это, например, обеспечение оптимального управления потоками транспорта (интенсивностью, скоростью, структурой).

Кроме того, в множестве Z можно выделить факторы, которые являются управляемыми консервативными ($z_{конс.} \subset Z$). Они влияют на мощность негативного воздействия техногенных объектов на окружающую среду, однако, им не характерна высокая динамика изменения. Тем не менее, на основании данных экомониторинга, а также модельных оценок и

прогнозов могут быть выработаны средне- и долгосрочные мероприятия по их изменению в целях обеспечения требуемой экологической ситуации на территории жилой застройки (определены соответствующие управляющие воздействия).

Информация о текущих и/или прогнозных значениях внешних факторов (отраженных на схеме рисунка 3 в группе III), которые составляют элементы некоторого множества Ω , также может быть использована при реализации направлений 2 и 3 (рисунок 6). Эти факторы влияют на распространение и накопление загрязнений в пространстве. На основании результатов экомониторинга, оценок и прогнозов могут быть выработаны регулирующие мероприятия в рамках специализированных Программ, связанных с изменением указанных параметров внешнего воздействия, что в целом повлияет на изменение экологической ситуации.

Следует отметить, что результаты применения моделей оценки и прогнозирования экологической ситуации при изменении компонентов множеств Z и Ω могут быть эффективно использованы на стадии планировки и застройки территорий жилой застройки; при выборе технических и технологических характеристик производственных процессов; корректировке ПДВ, ПДС и т.п.; при изменении экологических паспортов, выдачи лицензий и пр.

Все направления, отраженные на схеме рисунка 6, взаимосвязаны. Так, результаты проведения оперативных регулирующих мероприятий могут определить необходимость выработки или корректировки уже имеющихся экологических Программ, планируемых для реализации на долгосрочный период. В свою очередь результаты последних могут повлиять на сами подвижные факторы, в том числе изменить их число и результат их воздействия на состояние компонентов природной среды. Результаты реализации как направления 1, так и 2 способны повлиять на разработку новых законов, нормативных актов и др., которые будут направлены, на обеспечение требуемого состояния экологической безопасности территорий с жилой застройкой, а также будут способствовать исполнению федеральной законодательной базы в этой сфере всеми физическими и юридическими лицами, деятельность которых связана с функционированием техногенных объектов. Осуществление оперативных и долгосрочных регулирующих мероприятий опирается на законодательную базу (как федеральную, так и региональную).

Заключение

Описанные подходы к проведению оценки фактической и прогнозируемой экологической ситуации на территории жилой застройки при функционировании АСУ ЭБ позволят обеспечить реализацию адаптивного управления, интеллектуализировать работу всех элементов системы. В результате это повысит объективность и эффективность формируемых в АСУ решений в сфере обеспечения требуемого состояния экологической безопасности на рассматриваемой территории, а также существенно сократит времена на выработку и реализацию управляющих воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Режим доступа: <http://www.orel.gks.ru>. – Официальный сайт. Орелстат. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Орловской области.
2. Ильичев, В.А. Может ли город быть биосферосовместимым и развивать человека? [Текст] / В.А. Ильичев // Архитектура и строительство Москвы. – 2009. – №2.
3. Иващук, О.А. Теоретические основы построения автоматизированной системы управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса [Текст]: монография / О.А. Иващук, И.С. Константинов. – М: Машиностроение, 2009. – 205 с.
4. Константинов, И.С. Автоматизированная система управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса [Текст] / И.С. Константинов, О.А. Иващук // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – №8. – С. 44-49.
5. Иващук, О.А. Автоматизация как основа реализации принципов современной системы управления экологической безопасностью. [Текст] / О.А. Иващук // Информационные системы и технологии. Известия ОрелГТУ. – 2009. – № 4/54(565). – С. 95-104.

6. Донченко, В.К. Экологическая экспертиза [Текст] / В.К. Донченко и др.; под ред. проф. В.М. Питулько. – Изд. 2-е. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.

Иващук Орест Дмитриевич

ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Аспирант кафедры «Информационные системы»

E-mail: ivascuk@orel.ru

IVASHCHUK O.D.

CONTROL OF THE ECOLOGICAL SITUATION ON TERRITORIES OF THE HOUSING ESTATE ON THE BASIS OF MODELLING

Questions of maintenance of a choice of the most rational controlling decisions in automated control systems by ecological safety on territory of a housing estate on the basis of an actual and predicted ecological situation modeling are considered. Approaches to construction of models of an ecological situation, including model of integrated estimation on a cumulative condition of various components of environment, are described. The analysis of formation of an adverse ecological situation in territory of a housing estate with a view of definition of models parameters is carried out.

Keywords: *models of ecological situation; automated control system; estimation and prediction; controlling decisions*

BIBLIOGRAPHY

1. Rezhim dostupa: <http://www.orel.gks.ru>. – Oficial'nyj sajt. Orelstat. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Orlovskoj oblasti.
2. Il'ichev, V.A. Mozhet li gorod byt' biosferosovmestimym i razvivat' cheloveka? [Tekst] / V.A. Il'ichev // Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy. – 2009. – №2.
3. Ivashchuk, O.A. Teoreticheskie osnovy postroenija avtomatizirovannoj sistemy upravlenija jekologicheskoy bezopasnost'ju promyshlennno-transportnogo kompleksa [Tekst]: monografija / O.A. Ivashchuk, I.S. Konstantinov. – M: Mashinostroenie, 2009. – 205 s.
4. Konstantinov, I.S. Avtomatizirovannaja sistema upravlenija jekologicheskoy bezopasnost'ju promyshlennno-transportnogo kompleksa [Tekst] / I.S. Konstantinov, O.A. Ivashchuk // Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij. – 2009. – №8. – S. 44-49.
5. Ivashchuk, O.A. Avtomatizacija kak osnova realizacii principov sovremennoj sistemy upravlenija jekologicheskoy bezopasnost'ju. Tekst / O.A. Ivashchuk // Informacionnye sistemy i tehnologii. Izvestija OrelGTU. – 2009. – №4/54(565). – S. 95-104.
6. Donchenko, V.K. Jekologicheskaja jekspertiza [Tekst] / V.K. Donchenko i dr.; pod red. prof. V.M. Pitul'ko. – Izd. 2-e. – M.: Izd. centr «Akademija», 2004. – 480 s.

Ivashchuk Orest Dmitrievich

State university ESPC, Orel

Post-graduate student of department «Information systems»

E-mail: ivascuk@orel.ru

УДК 539.4.015.2

ГРЕЧИХИН Л.И., НАЗАРЧУК З.Т., СКАЛЬСКИЙ В.Р., ПОДЛОЗНЫЙ Э.Д.

УПРОЧНЕНИЕ БЕТОНА ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Разработана кинетика образования высокомолекулярных структур, определяющих кластерные образования на наноуровне каждого из композитов в бетоне. Произведены расчеты адгезионных связей между разными композитами сложного конструкционного материала. Определены состав и структура упрочненного слоя на поверхности конструкционного материала и на этой основе получены модули сжатия Юнга стекловидного упрочненного слоя на поверхности бетона. Определены основные требования к технологии поверхностного упрочнения бетона при плазменном оплавлении.

Ключевые слова: высокомолекулярные наноструктуры, упрочнение, модуль Юнга, плазменная обработка.

Постановка задачи исследования

Бетон и железобетон в строительстве являются основными конструкционными материалами. Создаваемые конструкции эксплуатируются в самых сложных климатических, температурных и механических условиях. Поэтому к такому материалу предъявляются исключительно жесткие требования к механическим и тепловым его свойствам. Создание бетонов с лучшими механическими и тепловыми свойствами постоянно требует практическое их применение. Улучшить механические свойства (жесткость, выносливость, износостойкость, способность выдерживать большие механические статические и динамические нагрузки с учетом влияния температурных воздействий) пытаются осуществить в различных направлениях. В этом направлении уже достигнуты положительные результаты, но многие аспекты этой проблемы остаются вне поля зрения. Бетон, а тем более железобетон являются композиционными материалами. Основу бетона составляет кварцевый песок, каждая частица которого окутана поверхностно активным веществом карбоната кальция или силицида кальция. Каким образом осуществляется активация поверхностно-активного вещества на поверхности кварцевой частицы до конца остается не понятным на атомно-молекулярном и особенно на наноразмерном уровне.

Для упрочнения бетона применяют железную оснастку в виде арматуры и железную фибру [1, 2]. В последнее время предложено использовать в качестве оснастки железную проволоку в деформированном состоянии [3-6]. Это позволило существенно увеличить стойкость железобетона к механическим нагрузкам. Модуль Юнга настолько увеличился, что это позволило решить многие проблемы в строительстве особо важных объектов (высотных зданий, мостов, тоннелей и др.). Но даже в этом случае прочность бетона и железобетона желает быть лучшей. Чтобы идти дальше, необходимо более подробно изучить причину разрушения бетонов. Оказалось, что основной причиной разрушения является наличие трещин и разного рода каверн, которые присутствуют в бетоне на нано-, микро- и макроуровнях. В процессе сжатия или растяжения газонаполненные трещины и пустоты сжимаются или увеличиваются в объеме. При этом давление газа изменяется, что приводит к возбуждению звуковых волн в объеме бетона. Это явление было изучено и подробно описано в монографии [7]. В результате доказано, что при воздействии механических нагрузок на бетон в нем действительно возникают звуковые волны, регистрация которых позволяет судить о величине происходящей деформации. Было установлено, что разрушение бетона определяется преимущественно

наличием щелевидных и объемных пустот у его поверхности. Поэтому начались поиски, как такие пустоты можно «залечивать».

«Залечивание» осуществляется различными способами: путем применения инъекционной технологии внедрения внутрь дефектов жидких материалов, которые кристаллизуются или полимеризуются, образуя прочную связь с основой, и таким образом упрочняют конструкционный материал [8-9]. «Залечивание» дефектов на поверхности стеклопакетов осуществляют путем нанесения многослойного покрытия нитридом титана ионно-плазменным способом [10]. В работе [18] предложено «залечивать» поверхностные дефекты в композиционных строительных материалах путем применения плазменной обработки. Все перечисленные способы упрочнения строительных композиционных материалов не находят широкого практического применения по двум причинам: 1) полностью не ясна кинетика образования упрочненного слоя на поверхности конструкционного материала; 2) предложенные способы достаточно энергозатратны и это сдерживает их использование. Очевидно, что первая причина обуславливает вторую, так как не ясно в каком направлении следует оптимизировать ту или иную технологию, чтобы она оказалась более менее малозатратной.

В связи с вышеизложенным возникает **цель** разработать основы кинетики образования упрочненного слоя на поверхности конструкционного композиционного материала на атомно-молекулярном с переходом на наноуровень и только затем на макроуровень его строения.

Настоящая цель ставит следующие задачи:

- разработать кинетику образования отдельных молекулярных структур, формирующих каждый отдельный композит в конструкционном материале;
- разработать кинетику образования высокомолекулярных структур, определяющих кластерные структуры на наноуровне каждого из композитов;
- произвести расчет адгезионных связей между разными композитами сложного конструкционного материала;
- определить состав и структуру упрочненного слоя на поверхности конструкционного материала и на этой основе выяснить, как изменяется модуль Юнга при растяжении и сжатии при наличии упрочненного слоя на его поверхности;
- определить основные требования к технологии поверхностного упрочнения композиционного строительного материала (бетона).

Ниже рассмотрим конкретный пример «залечивания» поверхностных дефектов применительно к бетону, образованному из кварцевого песка с «армированием» карбонатом кальция, путем применения высокотемпературной газоплазменной обработки.

Кинетика образования молекулярных структур CaO, CO и SiO

Исходными материалами в бетоне являются карбонат кальция (CaCO_3) и частицы кремнезема (SiO_2). Карбонат кальция формируется путем бинарного взаимодействия молекул оксида кальция (CaO) и диоксида углерода (CO_2). Диоксид углерода получается вследствие бинарного взаимодействия оксида углерода (CO) и атома кислорода. Молекулы кремнезема также представляют собой бинарное взаимодействие оксида кремния (SiO) и атома кислорода. Карбонат кальция и диоксид кремния являются сложными молекулами. В этих молекулах исходными являются атомы и оксиды кальция, углерода и кремния, которые представляют собой двухатомные молекулы. В двухатомных молекулах взаимодействуют между собой два атома. Исходные данные для атомных структур, участвующих во взаимодействиях, приведены в таблице 1.

Бинарные связи атомов, определяющие энергию диссоциации, разрыва связи и ионизации для некоторых двухатомных и многоатомных молекул экспериментально измерены и сведены в виде таблиц в справочниках [10-12], а для многих молекулярных систем остаются неизвестными. Поэтому было предложено применить квантово-механический метод расчета указанных величин на основе [14-16] с некоторой доработкой. В частности расчет энергии ковалентной связи бинарного взаимодействия производился по упрощенной формуле вида:

$$E_{ков.} = \sum_i \sum_j \left(\frac{H_{1,1} + H_{1,2}}{1 + S} \right)_{i,j}, \quad (1)$$

где перекрестное суммирование выполнялось по первой, второй и третьей степенями ионизации взаимодействующих частиц, $H_{1,1}$, $H_{1,2}$ и S – соответственно интегралы кулоновский, обменный и перекрытия квантово-механической теории возмущения. При этом волновые функции аппроксимировались S -состоянием с эффективными зарядом и главным квантовым числом.

Таблица 1 – Исходные данные атомов, участвующих в формировании двухатомных молекул

Атом	Потенциал первой, второй и третьей кратности ионизации, эВ			Среднее удаление электрона от ядра первой, второй и третьей кратности ионизации, Å			Эффективный заряд ядра первой, второй и третьей кратности ионизации		
	Θ_1	Θ_2	Θ_3	$r_{p,1}$	$r_{p,2}$	r_s	Z^*_1	Z^*_2	Z^*_3
C	11,3	24,4	47,9	0,92	0,84	0,76	0,72	1,32	2,41
Si	8,15	16,3	33,5	1,47	1,36	1,26	0,83	1,54	2,93
Ca	6,11	11,9	50,9	2,23	2,04	1,68	0,95	1,68	5,94
O	13,6	35,1	54,9	0,65	0,57	0,53	0,62	1,39	2,06

Ионная связь определялась по формуле:

$$E_{ион.} = -[P_1(1 - S_1)P_2S_2 + P_1S_1P_2(1 - S_2)] \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_e} + \frac{Z^*_{2,1}Z^*_{2,2}e^2}{4\pi\epsilon_0 r_e}. \quad (2)$$

Здесь первый член определяет энергию связи, обусловленную взаимодействием валентных электронов образовавшейся нейтральной двухатомной молекулы, а второй член определяет энергию расталкивания внутри ионного остова, P_1 – вероятность пребывания валентного электрона вблизи первого атома, P_2 – вероятность пребывания валентного электрона вблизи второго атома, а S_1 и S_2 – вероятности перехода соответственно от первого атома ко второму и от второго атома к первому, определяемые величиной интеграла перекрытия или туннельным эффектом.

Электрон-дипольная и диполь-дипольная связи определялись по методике, разработанной в [14-15], но с учетом того, что электрические диполи атомных систем использовались не для нейтральных атомных систем, а для ионного остова, и при этом рассматривалась не только одна пара ($p-s$), ($d-s$) или ($f-s$) взаимодействий, а вся их совокупность, как это предложено в [16]. Расчетные значения дипольных электрических моментов для атомных систем, которые участвуют в формировании молекул, образующих рассматриваемый в настоящей работе бетон, приведены в таблице 2.

Двухатомные молекулы обладают интересным свойством. Известно, что ковалентная связь возникает вследствие обмена валентными электронами. Если атомная система обладает встроенным дипольным электрическим моментом, то валентный электрон находится преимущественно вблизи отрицательного полюса. Так как ковалентная связь для двухатомных молекул является определяющей, то оба валентных электрона находятся примерно посредине между взаимодействующими атомами. Это приводит к тому, что дипольные моменты взаимодействующих атомов в двухатомной молекуле направлены противоположно относительно друг друга и ослабляют своим действием ковалентную и ионную связь. Для двухатомных молекул – это закон. При этом дипольные электрические моменты следует рассматривать те, которые присущи ионам, а не нейтральным атомам, как это полагали ранее, когда определяли потенциал взаимодействия между нейтральными атомами. При образовании молекул валентные электроны атомов обобщаются и формируют молекулярное электронное облако, а атомы образуют ионный остов.

Таблица 2 – Встроенные электрические моменты для атомов кремния, углерода, кальция, кислорода и их ионов

Элемент	Электрический момент, Кл·м*10 ³⁰					
	s^1-p^1	s^1-p^2	s^2-p^1	s^2-p^2		
Кремний	8,07	-7,12	5,42	-4,97	-	$p_{эSi} = 1,39$ $p_{эSi^+} = 12,1$
Углерод	6,287	-4,766	8,560	-6,290	-	$p_{эC} = 3,851$ $p_{эC^+} = 2,27$
Кальций	$p^1 - s^1$	$p^1 - s^2$	$p^2 - s^1$	$p^2 - s^2$	$p^3 - s^1$	$p_{эCa} = 5,20$ $p_{эCa^+} = 28,13$
	7,70	-12,50	4,91	-4,69	3,68	
	$p^3 - s^2$	$p^4 - s^1$	$p^4 - s^2$	$p^5 - s^1$	$p^5 - s^2$	
	-3,73	2,72	-2,87	2,17	-2,37	
	$p^6 - s^1$	$p^6 - s^2$				
1,75	-1,96					
Кислород	$p^1 - s^1$	$p^1 - s^2$	$p^2 - s^1$	$p^2 - s^2$	$p^3 - s^1$	$p_{эO} = 4,878$ $p_{эO^+} = 2,755$
	9,375	-7,252	18,775	-17,985	8,684	
	$p^3 - s^2$	$p^4 - s^1$	$p^4 - s^2$	$p^5 - s^1$	$p^5 - s^2$	
-7,715	8,491	-7,495	1,004	-0,557		

Когда атомы в двухатомной молекуле находятся на достаточно близком удалении, то интеграл перекрытия может оказаться больше единицы. Это значит, что валентные электроны, не задерживаясь, переходят от атома к атому, т.е. являются свободными и как бы не участвуют в обменном взаимодействии. Реально это не так. Валентные электроны между атомами создают повышенную плотность вероятности их распределения между взаимодействующими атомами, и таким образом между ними возникает дополнительный потенциальный барьер, который препятствует переходу валентного электрона от одного атома к другому. В этом случае вероятность перехода от одного атома к другому определяется не величиной интеграла перекрытия, а туннельным эффектом, который зависит от направления перехода.

Учитывая все это, был произведен расчет энергий диссоциации и ионизации двухатомных молекул. В таблице 3 приведены результаты расчета в сравнении с экспериментальными данными. Для молекул СО и SiO измерения выполнены тщательно и поэтому теоретический расчет совпал с экспериментальными данными достаточно удовлетворительно. Для молекулы CaO измерения были выполнены чисто оценочно. Поэтому в дальнейшем для этой молекулы использовались теоретически рассчитанные величины, приведенные в таблице 3.

Дипольные электрические моменты для двухатомных молекул равны разности дипольных электрических моментов атомов ионного остова. Эти данные представлены в таблице 3. Эффективные радиусы этих молекул также представлены в таблице 3. Приведенные данные молекул СО и SiO являются исходными для расчета трехатомных молекул СО₂ и SiO₂.

Таблица 3 – Энергия диссоциации и ионизации двухатомных молекул

Параметры	Молекулы			
	CaO	CO	SiO	MgO
r_e , Е	1,822	1,128	1,510	1,748
$E_{ков.}$, эВ	-4,65	-5,87	-4,96	-3,50
$E_{ион.}$, эВ	-1,06	0,38	-0,81	-1,42
E_{e-d} , эВ	0,49	-7,76	0,96	0,77
E_{d-d} , эВ	0,042	2,38	-4,30	0,24
$E_{рез.}/E_{экс.}$	5,22/4,3	10,86/11,09	8,02/8,20	4,15/4,16
$\Theta_{i,рез.}/\Theta_{i,экс.}$	7,32/6,5	14,010/14,024	12,01/10,51	7,74
$p_{э}, Кл·м·10^{30}$	25,375	8,301	9,345	2,275
$r_{эфф.}$	2,293	1,156	1,725	1,835

Расчет энергий разрыва связей и энергий ионизации в трехатомных молекулах CO₂ и SiO₂

При образовании двухатомных молекул обобщаются валентные электроны, которые формируют результирующее электронное облако типа S-состояния. Поэтому для анализа таких систем можно воспользоваться методом Слэтера [15]. Полученные этим методом результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные двухатомных молекул, участвующих в формировании трехатомных молекул

Молекула	Потенциал первой и, второй кратности ионизации, эВ		Среднее удаление электрона от ядра первой и второй кратности ионизации, Å		Эффективный заряд ядра первой и второй кратности ионизации	
	Θ_1	Θ_2	$r_{p,1}$	$r_{p,2}$	Z^*_1	Z^*_2
CO	14,024	40,4	1,156	0,759	1,127	2,127
SiO	10,51	29,9	1,618	1,052	1,18	2,18
MgO	7,82	23,5	1,895	1,244	1,028	2,028

Трехатомная молекула образуется при бинарном взаимодействии двухатомной молекулы с соответствующим атомом. Атом относительно двухатомной молекулы займет такое положение, когда возникнет максимальная энергия связи. Если ковалентная связь будет достаточной, чтобы не происходило разрыва расположения диполей в двухатомной молекуле под влиянием третьей частицы, то тогда третья частица должна занять такое положение, когда возникающее диполь-дипольное взаимодействие заметно увеличивает энергию связи. Это произойдет при расположении диполей в трехатомной молекуле в одном из направлений, как это показано на рисунке 1, а применительно к молекуле CO₂. Такое расположение

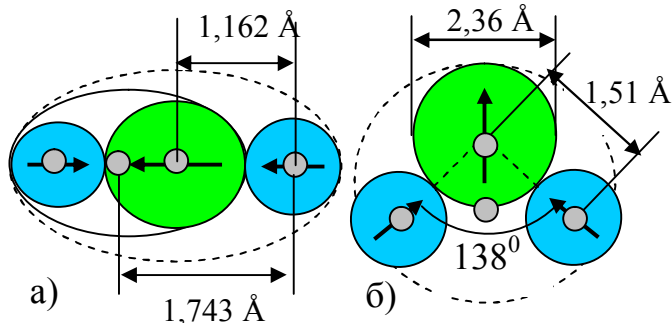


Рисунок 1 – Расположение дипольных электрических моментов в трехатомной молекуле: а – для CO₂ и б – для SiO₂

атомов в трехатомной молекуле CO₂ определяется ее типом симметрии [11,12]. Так как у молекулы SiO ковалентная связь меньше, чем у молекулы CO, то трехатомная молекула SiO₂ будет иметь структуру, отличную от молекулы CO₂, которая приведена на рисунке 1, б. Подробный анализ строения молекулы SiO₂ проведен в [15]. Ковалентный радиус для кремния (1,18 Е), углерода (0,77 Е) и кальция (1,97 Е) взяты из справочника [12]. Используя исходные данные для атома кислорода

(таблица 1) и для двухатомных молекул (таблица 4), был выполнен расчет ковалентной связи по (1) и ионной связи по (2).

Электрон-дипольное и диполь-дипольное взаимодействия определялись с учетом принципа суперпозиции электрических полей и с их расположением в трехатомной молекуле. Результаты сведены в табл. 5. Результирующее значение всех типов взаимодействий определяет энергию разрыва связи ($E_{рез}$).

Дипольный электрический момент молекулы CO₂ равен дипольному электрическому моменту иона атома углерода $2,27 \cdot 10^{-30}$ Кл·м. Это обусловлено тем, что дипольные электрические моменты атомов кислорода расположены в молекуле взаимно противоположно и поэтому компенсируют друг друга. В молекуле SiO₂ дипольные электрические моменты атомов кислорода расположены вдоль оси симметрии молекулы под углом 69° и усиливают дипольный электрический момент атома кремния. В результате дипольный электрический момент для молекулы SiO₂ равен $14,07 \cdot 10^{-30}$ Кл·м.

Таблица 5 – Энергия разрыва связи и ионизации; результирующий электрический момент и эффективный радиус трехатомных молекул

Молекула	Параметры трехатомной молекулы						
	$E_{ков.}, \text{эВ}$	$E_{ион.}, \text{эВ}$	$E_{e-d}, \text{эВ}$	$E_{d-d}, \text{эВ}$	$\Theta_i, \text{эВ}$	$E_{рез.}, \text{эВ}$	$r_{эфф}, \text{Е}$
CO ₂	-2,28	-0,12	-0,93	-2,11	12,7/13,9	5,45/5,45	1,16
SiO ₂	-5,32	-0,28	-0,018	0,70	12,5/11,7	4,91	1,82

Под чертой приведены экспериментальные данные

Зная как устроены двухатомные и трехатомные молекулы и как они расположены друг относительно друга, возможно произвести расчет энергий связи между этими молекулами. Применительно к бетону важно знать энергии разрыва связей в сложных молекулах карбоната кальция (CaCO₃), силицида кальция (CaSiO₃). Молекулы карбоната кальция и силицида кальция являются в бетоне поверхностно активными веществами для поверхности кремнезема.

Энергия связи между взаимодействующими молекулами карбоната кальция и силицида кальция

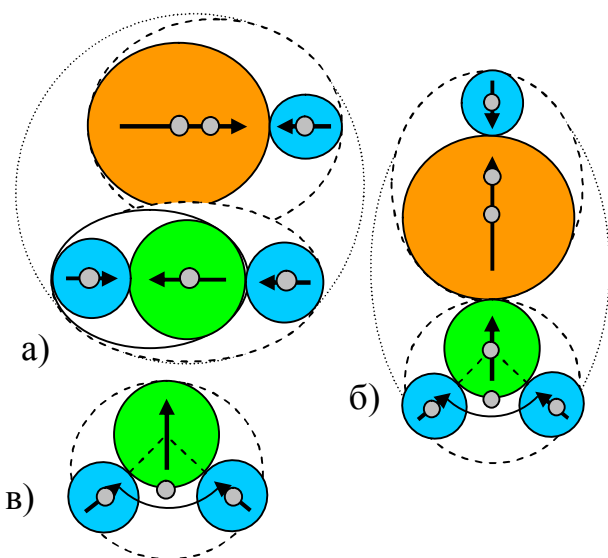


Рисунок 2 – Расположение двух- и трехатомных молекул друг относительно друга при их взаимодействии: а – в молекуле карбоната кальция; б – силицида кальция и в – диоксида кремния

Расположение двухатомных и трехатомных молекул друг относительно друга должно быть таким, чтобы возникала максимальная энергия связи. Ковалентной и ионной связями в молекулярном взаимодействии можно пренебречь и полагать, что в этом случае энергия связи определяется в основном электрон-дипольным и диполь-дипольным взаимодействиями. Тогда максимальная энергия связи между молекулами CaO и CO₂, а также между CaO и SiO₂ реализуется при расположении молекул так, как это показано на рисунке 2. При таком расположении молекул электрон-дипольное взаимодействие не должно возникать, а диполь-дипольное взаимодействие возникает между атомами кальция и углерода в карбонате кальция и между атомами кальция и кремния в силициде кремния. Результирующая энергия взаимодействия вычис-

ляется по формуле:

$$E_{d-d} = \frac{P_{э, Ca} P_{э, C(Si)}}{4\pi \epsilon_0 (r_{Ca} + r_{C(Si)})^3} \tag{3}$$

Получается, что энергия связи в молекуле карбоната кальция при расстоянии между ними 2,74 Е [12] равна 0,174 эВ, а в силициде кальция – 0,360 эВ. Следовательно, молекула карбоната кальция при температуре 2020 К полностью разлагается, а силицида кальция при такой температуре достаточно устойчивая.

Энергия связи молекул MgO и CO₂ составляет ~ 0,048 эВ, а молекул MgO и SiO₂ – ~ 0,083 эВ. Первая молекула будет распадаться при температуре ~ 560 К, а вторая – при ~ 960 К.

Образование кластеров

Все кристаллические тела состоят из кластеров [14, 15]. Молекулы, которые обладают большим встроенным дипольным электрическим моментом, при образовании молекулярного

кластера обладают простой кубической структурой. В этом случае бинарная связь между молекулами внутри кластера определяется с учетом электрон-дипольного и диполь-дипольного взаимодействия путем суммирования по всем дипольным электрическим моментам, которые имеются в каждой молекуле, т.е.

$$E_{св.,рез.} = \sum_i \sum_j \left[\frac{2ep_{i(j)} \cos(\alpha_{i(j)})}{4\pi \epsilon_0 r_{i(j)}^2} + \frac{2p_i \cos(\alpha_i) p_j \cos(\alpha_j)}{4\pi \epsilon_0 r_{i,j}^3} \right]. \quad (4)$$

Применительно к кластеру карбоната кальция, изображенного на рисунке 3, в горизонтальной плоскости электрон-дипольное взаимодействие отсутствует. Поэтому в этой плоскости двойная сумма берется только по второму члену в (4). В вертикальном направлении следует учитывать и электрон-дипольное взаимодействие. Расположение молекул друг относительно друга реализуется такое, которое обладает максимальным значением диполь-дипольного взаимодействия.

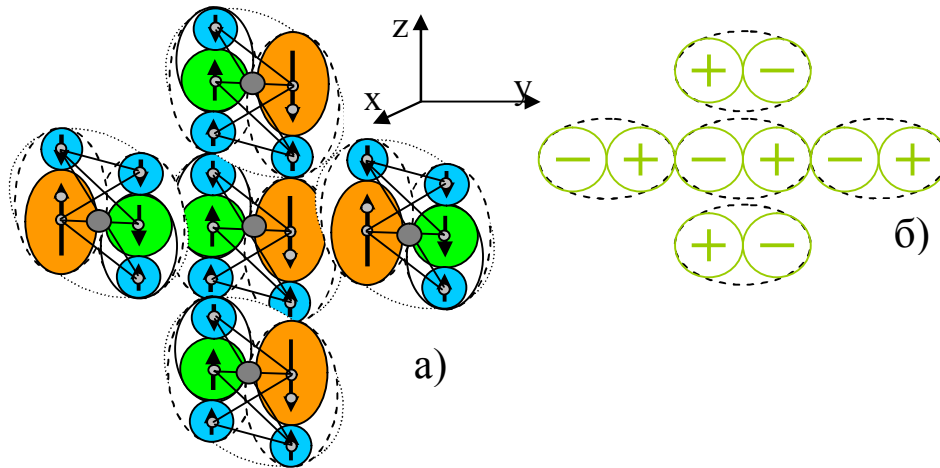


Рисунок 3 – Структура кластера карбоната кальция: а – вид сбоку; б – вид сверху

Молекулы карбоната кальция в горизонтальной плоскости, как это изображено на рисунке 3, обладают энергией связи 0,079 эВ. Это значит, что кластеры из молекул карбоната кальция, как связующая прослойка между частицами оксида кремния в бетоне, начнут распадаться при температуре 918 К. Вот почему при замешивании бетона необходимо вводить в весовом составе к песку сравнительно небольшой процент карбоната кальция. При этом добиваются, чтобы между частицами песка присутствовал только один монослой из молекул карбоната кальция. В этом случае бинарная энергия связи, т.е. адгезия карбоната кальция на поверхности песка увеличится, и частицы песка будут прочно связаны между собой внутри бетона. При хаотическом расположении кластеров кварцевого песка на его поверхности эта энергия существенно уменьшается. Причина этого явления рассмотрена в работе [3].

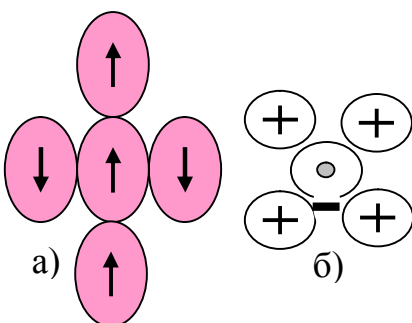


Рисунок 4 – Общий вид кластера простой кубической структуры: а – вид сбоку; б – вид сверху

Кварцевый песок, применяемый при производстве бетона, формируется кластерами диоксида кремния (SiO₂). В соответствии с минимумом энергии бинарного взаимодействия общий вид кластера диоксида кремния показан на рисунке 4. В горизонтальном направлении энергия бинарного взаимодействия между молекулами диоксида кремния 0,181 эВ, а в вертикальном направлении – 0,348 эВ и определяется преимущественно диполь-дипольным взаимодействием [15]. Следовательно, по мере разогрева поверхности бетона при температуре ~ 2000 К распадаются молекулы карбоната кальция и практически одновременно распадаются кластеры диоксида кремния. В зоне расплава будут присутствовать отдельные молекулы диоксида кальция, диоксида кремния и

диоксида углерода в виде углекислого газа. Очевидно, что в такой ванне расплава будет интенсивно происходить образование силицида кальция.

Межкластерное взаимодействие

В каждом кластере результирующий дипольный электрический момент равен геометрической сумме электрических диполей всех атомов, формирующих электронный остов кластера. При этом результирующий электрический момент кластера находится в центре кластера. Для молекулярного кластера карбоната кальция результирующий электрический момент равен $13,28 \cdot 10^{-30}$ Кл·м, а эффективный радиус – 14,94 Е. В соответствии с этими данными межкластерное взаимодействие для карбоната кальция составляет вдоль горизонтального направления 0,003 эВ, а вдоль вертикального направления – 0,0047 эВ. По существу кластеры карбоната кальция между собой не взаимодействуют и поэтому эти кластеры не создают кристаллическую структуру и пребывают в аморфном состоянии в виде жидкости.

Кластеры силицида кальция обладают результирующим электрическим моментом $39,45 \cdot 10^{-30}$ Кл·м и эффективным радиусом $5,92 \cdot 10^{-10}$ м в горизонтальном направлении и $11,27 \cdot 10^{-10}$ м – в вертикальном направлении. В результате вдоль вертикального направления кластеры силицида кальция взаимодействуют с энергией 0,015 эВ, а вдоль горизонтального направления – 0,053 эВ. Это также достаточно малая энергия связи и поэтому кристаллическая решеточная структура при нормальных условиях практически не должна возникать.

Кластеры диоксида кремния обладают дипольным электрическим моментом $14,074 \cdot 10^{-30}$ Кл·м и эффективным радиусом в горизонтальном и в вертикальном направлении 3,54 Е. Энергия бинарной связи вдоль вертикального направления 0,063 эВ, а вдоль горизонтального направления – 0,031 эВ. Получается, что кластеры диоксида кремния в нормальных условиях формируют кристаллическую структуру, которая при температуре ~ 740 К переходит в аморфное состояние и пребывает в виде стекловидной массы.

Взаимодействие кластеров карбоната кальция и силицида кальция на поверхности кремнезема происходит с кластерами диоксида кремния. Максимальная энергия связи возникнет в случае расположения кластеров вдоль поверхности частиц кварцевого песка. В этом случае энергия взаимодействия кластеров карбоната кальция с кластерами диоксида кремния составит $7,75 \cdot 10^{-4}$ эВ, а для кластеров силицида кальция – 0,0096 эВ. Получается, что при наличии в зоне расплава большого количества связующего материала карбоната кальция или силицида кальция приведет к образованию кластерных структур и тогда бетон просто рассыпится. Чтобы была обеспечена прочная связь связующего материала необходимо обеспечить один монослой на поверхности песка из молекул карбоната кальция или молекул силицида кальция. В этом случае энергия связи отдельных молекул карбоната кальция или силицида кальция при взаимодействии с кластерами диоксида кремния на поверхности частиц песка составит соответственно 0,063 и 0,186 эВ. При этом бинарная связь между частицами песка будет определяться взаимодействием между отдельными молекулами карбоната кальция или силицида кальция, с энергией 0,079 и 0,181 эВ соответственно.

Образование упрочненного слоя на поверхности бетона при плазменном оплавлении

В соответствии с энергией связи молекул СаО и СО₂ внутри карбоната кальция получается, что при температуре ~ 2000 К молекулы карбоната кальция полностью будут разрушены. При температуре 2100 К будут разрушены кластеры кремнезема. Энергия связи молекул СаО и SiO₂ в силициде кальция заметно превышает тепловую энергию в ванне расплава. Поэтому на разогретой поверхности бетона при температуре 2000 К интенсивно начнут образовываться молекулы силицида кальция. С уменьшением температуры поверхности бетона эти молекулы в соответствии с минимумом энергии связи займут положение, которое показано на рисунке 5.

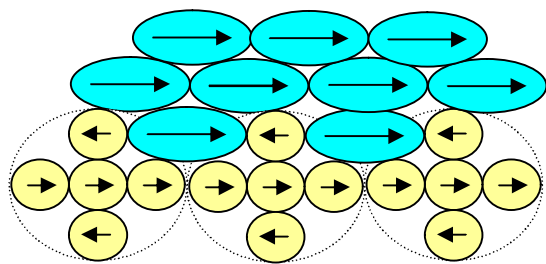


Рисунок 5 – Примерное расположение молекул силицида кальция на поверхности кремнезема

Бинарная энергия связи молекул силицида кальция с кластерами кремнезема составит 0,157 эВ. На поверхности кремнезема молекулы силицида кальция создадут плотно упакованный слой из нескольких молекул. Когда плотно упакованный слой из молекул силицида кальция составит более трех мономолекулярных толщин, то начнут образовываться кластеры силицида кальция и произойдет отслоение от основы всего слоя. При толщине покрытия молекулами силицида кальция около трех мономолекулярных слоев, реализуется максимальная энергия адгезии молекул силицида кальция на поверхности кремнезема.

Внутри слоя вдоль поверхности энергия бинарной связи составит 0,396 эВ, а перпендикулярно поверхности – 0,550 эВ. Модуль сжатия Юнга внутри слоя из силицида кальция определяется по формуле [14]:

$$E = \frac{U(r) - U(r_0)}{Sde^2}, \tag{5}$$

где $U(r)$ и $U(r_0)$ – энергии бинарного взаимодействия, определяемые потенциалом Леннарда-Джонса; S – площадь, занимаемая молекулой силицида кальция; d – расстояние между центрами взаимодействующих молекул; e – относительная деформация. Результаты расчета модулей сжатия Юнга вдоль поверхности (E_{\parallel}) и нормально к поверхности (E_{\perp}) в зависимости от величины деформации приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Модуль сжатия Юнга силицида кальция в зависимости от величины деформации

Модуль Юнга	Относительная деформация e			
	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,01
E_{\parallel} , Па	$7,46 \cdot 10^{10}$	$7,49 \cdot 10^{10}$	$7,70 \cdot 10^{10}$	$7,98 \cdot 10^{10}$
E_{\perp} , Па	$2,08 \cdot 10^{10}$	$2,09 \cdot 10^{10}$	$2,14 \cdot 10^{10}$	$2,22 \cdot 10^{10}$

Образовавшийся поверхностный слой обладает модулем сжатия Юнга силицида кальция почти на два порядка больше внутри бетона ($6,5 \cdot 10^8$ Па) и практически совпадает с высокопрочным бетоном без фибры ($4,03 \cdot 10^{10}$ Па) и с фиброй ($4,16 \cdot 10^{10}$ Па) [16].

Проведенные исследования бинарных связей между различными частицами в ванне расплава при плазменном воздействии на бетон позволяют определить требования к технологии упрочнения и «залечивания» дефектов в поверхностном слое.

Основные требования к технологии поверхностного упрочнения композиционного бетона

На основании полученных данных по энергиям связи в различных комбинациях бинарного взаимодействия возникает следующая ситуация. При температуре разогрева поверхности бетона ~ 2000 К распадаются молекулы карбоната кальция и кластерные структуры кремнезема. В ванне расплава образуются молекулы силицида кальция, что способствует увеличению энергии связи между частицами песка в бетоне. При температуре более 2500 К кремнезем вскипает и при быстром охлаждении в поверхностном слое в частицах песка возникают каверны, что резко ухудшает механические свойства поверхностного слоя. Чтобы этого не происходило было впервые предложено проплавление производить периодическим тепловым потоком [18]. При подборе необходимой скважности температура нагрева ванны расплава в импульсе не должна превышать 2500 К, а в процессе остывания не должна опускаться ниже 2000 К.

Общая длительность воздействия плазменного теплового потока должна обеспечить проплавление на глубину, равную диаметру частиц песка, применяемого при замешивании бетона.

Нельзя допускать разогрев в ванне расплава, когда образуется более трех мономолекулярных слоев силицида кальция. В этом случае образуются кластерные образования из молекул силицида кальция. При этом происходит внутренняя перестройка кристаллообразного покрытия, что приводит к значительным внутренним напряжениям, к возникновению трещин. Бинарная связь между кластерами силицида кальция внутри слоя и с основой резко ослабевает. Толщина покрытия стекловидной массы на поверхности бетона должна строго контролироваться так, чтобы она не превышала 0,012 мкм. Экспериментально известно, что отслоение стекловидной массы от бетона после плазменного воздействия происходит, когда ее толщина превосходит 0,5 мкм [18].

Заключение

Проведенные исследования на атомно-молекулярном и кластерном уровне с переходом на макроуровень показали следующее:

- 1) при образовании двухатомных молекул возникают результирующие дипольные электрические моменты, равные разности моментов исходных ионов в остове;
- 2) при образовании трехатомных молекул дипольные электрические моменты возрастают;
- 3) при образовании сложных молекулярных структур результирующие электрические моменты могут значительно возрастать, что приводит к увеличению диполь-дипольного взаимодействия, которое определяет адгезионные свойства таких молекул с различными кристаллическими структурами основы, т.е. поверхностно-активные свойства таких молекул существенно возрастают;
- 4) при плазменном воздействии на поверхность бетона в процессе проплавления следует использовать периодический метод, скважность которого должна обеспечить изменение температур в пределах 2000-2500 К;
- 5) толщина образовавшейся стекловидной массы не должна превышать 0,012 мкм, а толщина проплавления не должны превышать среднего размера помола кварцевого песка, применяемого при замешивании бетона;
- 6) в интервале температур 2000-2050 К кластеры диоксида кремния распадаются, образуется жидкая фаза, которая под действием сил поверхностного натяжения заполняет трещины и таким образом происходит их «залечивание».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анелло, М.А. Моделирование поведения работающих на растяжение бетонных элементов конструкций, армированных стержнями из волокнистого композита [Текст] / М.А. Анелло, М. Леоне, Л. Омбресс // Механика композитных материалов. – 2003. – Т. 39, – № 4. – С. 431-444.
2. Тенферс, Р. Сцепление арматуры из волокнистого композита в бетоне – актуальная проблема [Текст] / Р. Тенферс, Л. де Лоренцис // Механика композитных материалов. – 2003. – Т. 39, – № 4. – С. 477 – 496.
3. Витязь, П.А., Нанотехнология производства упрочненного бетона с различной матрицей композита [Текст] / П.А. Витязь, Э.Д. Подлозный, Л.И. Гречихин // Вести Национальной академии наук Беларуси. – 2010. – № 1. – С. 5-13.
4. Подлозный, Э.Д. Проблемы получения преднапряженного бетона на нанокластерном уровне [Текст] / Э.Д. Подлозный, Л.И. Гречихин // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк. – 2009. – Вип. 25. – С. 280-290.
5. Гречихин, Л.И. Анализ непрерывного армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций на наноуровне [Текст] / Л.И. Гречихин, Э.Д. Подлозный // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / Під заг. ред. В.В. Панасюка. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2009. – С. 315-320.

6. Подлозный, Э.Д. Предварительно напряженный бетон, армированный высокопрочной проволокой на наноуровне [Текст] / Э.Д. Подлозный, Л.И. Гречихин // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. тр. В 2 ч. Ч. 2. Технология бетона / Редкол. М.Ф. Марковский (гл. ред.) [и др.]. – Мн.: Минсктиппроект. – 2009. – С. 343 – 364.
7. Назарчук, З.Т. Акустично-емісійне діагностування елементів конструкцій [Текст] / З.Т. Назарчук, В.Р. Скальський // Науково-технічний посібник у трьох томах. – К.: Наук. думка. – 2009. – Т.1 – 287 с., Т. 2 – 267 с. і Т. 3 – 327 с.
8. Силованюк, В.П. Зміцнення бетону в результаті заповнення пор та порожнин [Текст] / В.П. Силованюк, В.І. Маруха, Н.В. Онищак // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2010. – №1. – С. 62-66.
9. Онищак, Н. Оцінки зміцнення тіла з двома тріщинами, «залікованими» за ін'єкційними технологіями [Текст] / Н. Онищак // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / Під заг. ред. В.В. Панасюка. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2009. – С. 561-564.
10. Комаровская, В.М. Технология подготовки поверхности и нанесение электродуговым TiN покрытием на изделиях из стекла в импульсном режиме [Текст] / В.М. Комаровская // Канд. диссерт. – Мн.: БНТУ. – 2010. – 184 с.
11. Справочник химика в 6 томах. Т. 1. Общие сведения: Строение вещества, свойства важнейших веществ, лабораторная техника. – М.-Л.: Химия, 1971. – 1072 с.
12. Радциг, А.А. Справочник по атомной и молекулярной физике. [Текст] / А.А. Радциг, Б.М. Смирнов. – М., Атомиздат, 1980. – 240 с.
13. Физические величины: справочник [Текст] / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М., Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
14. Гречихин, Л.И. Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства [Текст] / Л.И. Гречихин, Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 399 с.
15. Гречихин, Л.И. Наночастицы и нанотехнологии [Текст] / Л.И. Гречихин. – Мн.: Право и экономика, 2008 – 406 с.
16. Гречихин, Л.И. Наноуровень обоснования ОКГ конденсированных сред [Текст] / Л.И. Гречихин, Ю. Шмермбек МГВАК. – Мн.: Право и экономика, 2010. – 75 с.
17. Пушенко, А.С. Высокопрочный бетон в условиях воздействия высоких температур при пожаре [Текст] / А.С. Пушенко / Автореферат дис. ... канд. тех. наук (05-23-05), Ростов на Дону – 2008. – 23 с.
18. Плазменное оплавление строительных композитов [Текст] / С.В. Федосов, М.В. Акулова, Ю.А. Щепочкина, Э.Д. Подлозный, Н.Н. Науменко. – М.: АСВ; Иваново: ИГАСУ, – 2009. – 228 с.

Гречихин Леонид Иванович

Минский государственный высший авиационный колледж, г. Минск, Беларусь
Доктор физико-математических наук, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин
Тел.: +7-10-375-17-505-12-62
E-mail: gretchihin@yandex.ru

Назарчук Зиновий Теодорович

Физико-механический институт им. Г.В. Карпенко НАН Украины, г. Львов, Украина
Академик НАН Украины, доктор физико-математических наук, профессор
Тел.: +7-10-322-229-62-59
E-mail: nazarch@ipm.lviv.ua

Скальський Валентин Романович

Физико-механический институт им. Г.В. Карпенко НАН Украины, г. Львов, Украина
Доктор технических наук, профессор
Тел.: +7-10-322-263-12-64;
E-mail: skal@ipm.lviv.ua

Подлозный Эдуард Дмитриевич

Частное учреждение образования «БИП – Институт правоведения», г. Минск, Беларусь
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры экономико-математических и информационных дисциплин
Тел.: +7-10-375-17-227-53-57
E-mail: ilon@mail.by, andrey-rusak@mail.ru

HARDENING OF CONCRETE BY PLASMA PROCESSING OF THE SURFACE

Designed kinetics of macromolecular structures that determine cluster formation at the nanoscale level of each of the composites in concrete. Calculations of adhesive bonds between the different composites of complex structural material. The composition and structure of the hardened layer on the surface of the material of construction, and on this basis the Young's moduli of vitreous contraction of the hardened layer on the surface of the concrete. The main requirements to technologies of surface hardening of concrete during plasma melting.

Keywords: macromolecular nanostructures, hardening, Young's modulus, plasma treatment.

BIBLIOGRAPHY

1. Anello, M.A. Modelirovanie povedenija rabotajuwih na rastjazhenie betonnyh jelementov konstrukcij, armirovannyh sterzhnjami iz voloknistogo kompozita [Tekst] / M.A. Anello, M. Leone, L. Ombress // Mehanika kompozitnyh materialov. – 2003. – T. 39, – № 4. – S. 431-444.
2. Tenfers, R. Sceptlenie armatury iz voloknistogo kompozita v betone – aktual'naja problema [Tekst] / R. Tenfers, L. de Lorencis // Mehanika kompozitnyh materialov. – 2003. – T. 39, – №4. – S. 477 – 496.
3. Vitjaz', P.A., Nanotehnologija proizvodstva uprochnennogo betona s razlichnoj matriciej kompozita [Tekst] / P.A. Vitjaz', Je.D. Podloznyj, L.I. Grechihin // Vesti Nacional'noj akademii nauk Belarusi. – 2010. – № 1. – S. 5-13.
4. Podloznyj, Je.D. Problemy poluchenija prednaprjazhennogo betona na nanoklasternom urovne [Tekst] / Je.D. Podloznyj, L.I. Grechihin // Naukovi notatki. Mizhvuzivs'kij zbirnik. – Luc'k. – 2009. – Vip. 25. – S. 280-290.
5. Grechihin, L.I. Analiz nepreryvno armirovanija predvaritel'no naprjazhennyh zhelezobetonnyh konstrukcij na nanourovne [Tekst] / L.I. Grechihin, Je.D. Podloznyj // Mehanika rujnuvannja materialiv i micnist' konstrukcij / Pid zag. red. V.V. Panasjuka. – L'viv: Fiziko-mehanichnij institut im. G.V. Karpenka NAN Ukraïni. – 2009. – S. 315-320.
6. Podloznyj, Je.D. Predvaritel'no naprjazhennyj beton, armirovannyj vysokoprochnoj provolokoj na nanourovne [Tekst] / Je.D. Podloznyj, L.I. Grechihin // Problemy sovremennoho betona i zhelezobetona: sb. tr. V 2 ch. Ch. 2. Tehnologija betona / Redkol. M.F. Markovskij (gl. red.) [i dr.]. – Mn.: Minsktiproekt. – 2009. – S. 343 – 364.
7. Nazarchuk, Z.T. Akustichno-jemisijne diagnostuvannja jelementiv konstrukcij [Tekst] / Z.T. Nazarchuk, V.R. Skal'skij // Naukovo-tehnichnij posibnik u tr'oh tomah. – K.: Nauk. dumka. – 2009. – T.1 – 287 s., T. 2 – 267 s. i T. 3 – 327 s.
8. Silovanjuk, V.P. Zmicennja betonu v rezul'tati zapovnennja por ta porozhnin [Tekst] / V.P. Silova-njuk, V.I. Maruha, N.V. Oniwak // Fiz.-him. mehanika materialiv. – 2010. – №1. – S. 62-66.
9. Oniwak, N. Ocinki zmicennja tila z dvoma triwinami, «zalikovanimi» za in'jekcijnimi tehnologijami [Tekst] / N. Oniwak // Mehanika rujnuvannja materialiv i micnist' konstrukcij / Pid zag. red. V.V. Panasjuka. – L'viv: Fiziko-mehanichnij institut im. G.V. Karpenka NAN Ukraïni. – 2009. – S. 561-564.
10. Komarovskaja, V.M. Tehnologija podgotovki poverhnosti i nanesenie jelektrodugovym TiN pokrytjem na izdelijah iz stekla v impul'snom rezhime [Tekst] / V.M. Komarovskaja // Kand. dissert. – Mn.: BNTU. – 2010. – 184 s.
11. Spravochnik himika v 6 tomah. T. 1. Obwie svedenija: Stroenie vewestva, svojstva vazhnejshih vewestv, laboratornaja tehnika. – M.-L.: Himija, 1971. – 1072 s.
12. Radcig, A.A. Spravochnik po atomnoj i molekularnoj fizike. [Tekst] / A.A. Radcig, B.M. Smirnov. – M., Atomizdat, 1980. – 240 s.
13. Fizicheskie velichiny: cpravochnik [Tekst] / A.P. Babichev, N.A. Babushkina, A.M. Bratkovskij i dr.; pod red. I.S. Grigor'eva, E.Z. Mejlihova. – M., Jenergoatomizdat, 1991. – 1232 s.
14. Grechihin, L.I. Fizika nanochastic i nanotehnologij. Obwie osnovy, mehanicheskie, teplovyje i jemissionnye svojstva [Tekst] / L.I. Grechihin, Mn.: UP «Tehnoprint», 2004. – 399 s.
15. Grechihin, L.I. Nanochasticy i nanotehnologii [Tekst] / L.I. Grechihin. – Mn.: Pravo i jekonomika, 2008 – 406 s.
16. Grechihin, L.I. Nanouroven' obosnovanija OKG kondensirovannyh sred [Tekst] / L.I. Grechihin, Ju. Shmermbekk MGVAK. – Mn.: Pravo i jekonomika, 2010. – 75 s.
17. Pushenko, A.S. Vysokoprochnyj beton v uslovijah vozdejstvija vysokih temperatur pri pozhare [Tekst] / A.S. Pushenko / Avtoreferat dis. ... kand. teh. nauk (05-23-05), Rostov na Donu – 2008. – 23 s.

18. Plazmennoe oplavlenie stroitel'nyh kompozitov [Tekst] / S.V. Fedosov, M.V. Akulova, Ju.A. Wepochkina, E.D. Podloznyj, N.N. Naumenko. – M.: ASV; Ivanovo: IGASU, – 2009. – 228 s.

Hrechikhin Leonid Ivanovich

Minsk state aviation college, Belarus, Minsk

Doctor of physical and mathematical sciences, professor of department «Is natural-scientific disciplines»

Ph.: +7 10 375 29 355 19 29

E-mail: gretchihin@yandex.ru

Nazarchuk Zinovy Teodorovich

Physicomechanical institute of G.V. Karpenko NAS Ukraine, Lvov, Ukraine

Doctor of physical and mathematical sciences, professor

Тел.: +7-10-322-229-62-59

E-mail: nazarch@ipm.lviv.ua

Skalsky Valentine Romanovich

Physicomechanical institute of G.V. Karpenko NAS Ukraine, Lvov, Ukraine

Doctor of technical science, professor

Тел.: +7-10-322-263-12-64

E-mail: skal@ipm.lviv.ua

Podlozny Edward Dmitrievich

Private establishment of formation «PIP – jurisprudence Institute», Belarus, Minsk

Candidate of technical science, senior research assistant, associate professor of department «Economic-mathematical and information disciplines»

Ph.: +7 10 375 29 142 21 92

E-mail: ilon@mail.by

ЕВТЕЕВА С.М.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕМОНТНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ К НАНЕСЕНИЮ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РАЗМЕТКИ

Существенное влияние на срок службы горизонтальной дорожной разметки оказывает качество подготовки дорожного покрытия к процессу нанесения разметочного материала. Подготовка поверхности включает в себя демаркировку старой разметки, очистку и выполнение ямочного ремонта дорожного покрытия. Для ремонта дорожных покрытий преимущественно применяются различные асфальтобетоны горячего приготовления, технология производства и применения которых обладает рядом существенных недостатков. Разработанная в Саратовском государственном техническом университете технология производства и применения для ямочного ремонта покрытий холодного регенерированного асфальта с дисперсным битумом способствует энергосбережению, повышению экологической безопасности, улучшению условий и повышению производительности труда, значительному снижению стоимости производства работ по сравнению с горячим асфальтовым бетоном.

Ключевые слова: дорожная разметка, дорожное покрытие, ямочный ремонт, регенерированные смеси, дисперсный битум.

Введение

Значительный рост интенсивности движения и количества дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах обуславливает необходимость обеспечения высоких эксплуатационных свойств дорожной разметки, как наиболее эффективного средства организации и упорядочения движения транспортных средств, способствующего повышению безопасности дорожного движения, увеличению скоростей движения автомобилей и пропускной способности автомобильной дороги. Существенное влияние на эксплуатационные свойства и функциональную долговечность дорожной разметки оказывают качество и состояние поверхности дорожного покрытия в момент нанесения дорожной разметки и в период ее дальнейшей эксплуатации.

Процесс нанесения дорожной разметки начинается с подготовки поверхности дорожного покрытия перед нанесением разметочного материала и включает в себя обязательную очистку поверхности дорожного покрытия с использованием специальной техники или ручную, демаркировку старой разметки специальными демаркировщиками, малогабаритными дорожными фрезами или методом выжигания инжекторными газоздушными горелками, заливку трещин, выполнение ямочного ремонта покрытия.

Ямочный ремонт покрытия, заливка трещин и ремонт люков колодцев подземных коммуникаций, находящихся в зоне расположения дорожной разметки, выполняется лишь по требованию заказчика. Однако, как показывает практика, отсутствие устранения различных деформаций и повреждений в период подготовки дорожного покрытия к нанесению разметочного материала приводит к преждевременному износу, снижению необходимых эксплуатационных свойств, и, в конечном счете, в несколько раз сокращает срок службы горизонтальной дорожной разметки. Поэтому своевременный ремонт выбоин, трещин, просадок, колеи, выравнивание кромок проезжей части и ликвидация даже незначительных дефектов и разрушений в период подготовки дорожного покрытия к процессу нанесения разметочного материала является гарантом функциональной долговечности и поддержания высоких физико-механических свойств горизонтальной дорожной разметки на протяжении всего срока ее службы.

Недостатки традиционных материалов

В настоящее время на территории Российской Федерации более 50% автомобильных дорог требуют ремонта [1]. Практикой установлено, что поверхность дорожных покрытий, нуждающихся в текущем ремонте, ежегодно составляет 2-3% от общей их площади [2].

Для ремонта дорожных покрытий при их подготовке к процессу нанесения разметочного материала преимущественно применяются асфальтобетонные смеси горячего приготовления, технология производства которых требует повышенного расхода тепловой и электрической энергии, сопровождается выбросом в атмосферу значительного количества вредных веществ, наносящих непоправимый ущерб окружающей среде, здоровью работающего персонала.

Использование горячих смесей для ямочного ремонта покрытий связано с необходимостью применения транспортных средств, оборудованных специальными термосными бункерами, термоизолированными кузовами или защитными тентами во избежание остывания смесей при транспортировке и во время производства работ, что позволяет поддерживать требуемую температуру смеси в течение нескольких часов. Однако часто это не обеспечивается, смеси быстро остывают, и срок службы отремонтированных участков не превышает нескольких месяцев. Кроме того, осуществление ямочного ремонта горячими асфальтобетонными смесями требует подгрунтовки ремонтных карт горячим битумом для получения качественного сопряжения с существующим покрытием.



Рисунок 1 – Фото участка автомобильной дороги федерального значения после ремонта горячей асфальтобетонной смесью

К недостаткам традиционного метода ямочного ремонта покрытий горячими асфальтобетонными смесями также относится отсутствие эстетического вида. Отремонтированные выбоины в течение длительного времени сохраняют черный цвет, резко выделяются на фоне основной площади покрытия (рисунок 1), что оказывает негативное воздействие на психоэмоциональное состояние, восприятие и прогнозирование водителями дорожной обстановки, снижает уровень безопасности дорожного движения на отремонтированных участках автомобильной дороги. Использование горячих асфальтобетонных смесей для устранения незначительных дефектов дорожных покрытий, проведения небольших объемов ямочного ремонта, заделки выбоин, оставшихся после

взятия вырубок и кернов дорожными организациями, следует признать неэффективным, так как влечет за собой организационные и технологические трудности, связанные с приготовлением малых объемов смесей на асфальтобетонном заводе и их транспортировкой на дальние расстояния с поддержанием требуемой температуры смеси. В связи с этим, как показывает практика, ремонт участков, требующих небольших объемов работ, в большинстве случаев не осуществляется.

Альтернативные методы ремонта дорожных покрытий холодными асфальтобетонными смесями на битумных эмульсиях требуют необходимости заблаговременного производства эмульсий на специальном оборудовании с использованием дефицитных, дорогостоящих поверхностно-активных эмульгаторов, нередко приобретаемых за рубежом, что существенно удорожает производство асфальтовых бетонов. Технологические особенности асфальтобетонных смесей на битумных эмульсиях позволяют транспортировать их на дальние расстояния без специальных мер и хранить их на складах, однако сроки хранения таких смесей в каждом конкретном случае устанавливаются индивидуально, зависят от вязкости битума, типа и времени распада битумной эмульсии.

В ряде зарубежных стран широко практикуется применение для ремонта дорожных покрытий, и, в частности, при подготовке покрытий к нанесению дорожной разметки, специальных холодных смесей со сроками их хранения в готовом виде в течение 1-2 лет (в герметичных пластиковых емкостях, запаянных полиэтиленовых пакетах, штабелях на открытых площадках), где в качестве вяжущего используется модифицированный полимерами жидкий битум со специальными добавками или эмульсия на его основе, что делает такие смеси достаточно дорогостоящими.

ДОСТОИНСТВА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Актуальной проблемой современного дорожного строительства является применение регенерированного асфальтобетона. В развитых странах объемы производства и применения регенерированных асфальтобетонов достигают десятков миллионов тонн в год. Современные технологии горячей регенерации являются сложными и трудоемкими, и, наряду с существенными недостатками, присущими приготовлению и применению горячего асфальтобетона, требуют необходимости специального дорогостоящего оборудования для их производства.

На кафедре «Строительство дорог и организация движения» (СОД) Саратовского государственного технического университета (СГТУ), заведование которой осуществляет доктор технических наук, профессор В.В. Столяров, под научным руководством профессора Н.А. Горнаева разработана эффективная технология холодной регенерации асфальта с дисперсным битумом. Существенным отличием технологии является образование в процессе смешения холодных увлажненных старого асфальтобетона и минеральных материалов в объеме асфальтовой смеси прямой медленно распадающейся битумной эмульсии, стабилизированной твердым эмульгатором, роль которого выполняет применяющийся минеральный порошок. Для практической реализации разработанной технологии используется упрощенная технологическая линия серийно выпускаемого оборудования асфальтобетонных заводов.

Технология имеет ряд социально значимых достоинств и является:

- энергосберегающей, так как отпадает необходимость в высушивании и нагреве старого асфальтобетона и минеральных составляющих;
- ресурсосберегающей за счет исключения из технологической линии сушильного барабана, форсунки, топочного хозяйства, пылеуловительной установки, грохота, необходимости их обслуживания, снижения металлоемкости завода;
- экологически безопасной, так как благодаря холодному и влажному приготовлению смесей практически полностью исключаются выбросы в атмосферу минеральной пыли, канцерогенных углеводородов, окислов азота, серы, углерода;
- народнохозяйственный эффект от ее внедрения составляет около 50% по сравнению с асфальтобетонами горячего приготовления и др.

Разработанная технология признана изобретением [3] и является стандартом организации ООО ПКФ «Интер КБ» (г. Саратов) [4].

Дальность транспортировки холодных регенерированных асфальтовых смесей с дисперсным битумом не ограничена. Однако длительное хранение их в штабелях в результате испарения воды приводит к снижению технологической подвижности смесей.

В СГТУ разработан способ длительного хранения регенерированных смесей в герметичных упаковках, что позволяет приготавливать смеси заблаговременно в запас, хранить их на складах как при положительных, так и при отрицательных температурах, транспортировать в пределах большого региона, использовать их в любом количестве (от одной упаковки до не-

скольких тонн) для выполнения ямочного ремонта покрытий автомобильных дорог, в частности, при подготовке дорожных покрытий к процессу нанесения разметочного материала.

ОПЫТНОЕ ВНЕДРЕНИЕ

В рамках экспериментальных исследований в 2009 г. в процессе подготовки поверхности дорожного покрытия к нанесению разметочного материала был осуществлен ямочный ремонт асфальтобетонного покрытия на участке автомобильной дороги федерального значения 1Р-228 «Сызрань-Саратов-Волгоград» протяженностью 50 м (км 155+000 – км 155+050), а также покрытия автомобильной дороги на одной из центральных улиц г. Саратова. Для ремонта использовались регенерированные смеси с дисперсным битумом после хранения в герметичных условиях в течение 6 месяцев.

Ремонтные работы выполнялись следующим образом. Проводилась очистка выбоин от пыли и загрязнений, края и дно смачивались водой для улучшения сцепления старого слоя покрытия с регенерированной смесью (рисунок 2, а). Подгрунтовка ремонтных карт битумом не производилась. Послойное распределение смесей осуществлялось вручную с помощью совка и деревянной гладилки. При ремонте выбоин с произвольной конфигурацией в плане и ремонтных карт небольших размеров уплотнение смесей осуществлялось вручную с применением металлической трамбовки массой 5 кг. При ремонте выбоин больших размеров уплотнение проводилось виброплитой VP 1135A с удельным давлением 0,032 кг/см², частотой колебаний 3000 об/мин. и амплитудой 1,2 мм (рисунок 2, б). Уплотнение продолжалось до появления на поверхности слоя воды. Для контроля ровности получаемого покрытия применялась деревянная рейка. Толщина уложенного слоя асфальта на экспериментальных участках в среднем составляла 4 см.



*Рисунок 2 – Ремонт выбоины на дорожном покрытии:
а – подготовленная ремонтная карта; б – уплотнение смеси виброплитой;
в – термическая обработка поверхности покрытия*

Для обеспечения возможности нанесения разметочного материала на отремонтированные участки непосредственно после окончания ремонтных работ проводилось устройство защитного слоя путем термической обработки поверхности свежеложенного покрытия. Для этого применялась газовая эжекционная горелка ГВП-246 мощностью 0,5-7 кВт, подключенная шлангом через регулятор давления к баллону с сжиженным пропаном (рисунок 2, в). Температура покрытия в ходе ямочного ремонта определялась цифровым мультиметром Mastech M 830 с термощупом. Разметочный материал наносился сразу после остывания отремонтированного участка до температуры окружающего воздуха (около 15-20 минут).

Визуальные наблюдения показали, что отремонтированные выбоины в течение длительного времени находятся в хорошем состоянии, признаков разрушений после 1 года эксплуатации не было обнаружено.

Выводы

Полученные в результате экспериментального внедрения практические результаты показали, что регенерированный асфальт с дисперсным битумом является технологически и экономически эффективным материалом для ямочного ремонта на проезжей части автомобильных дорог при подготовке дорожных покрытий к нанесению разметочного материала. Применение регенерированного асфальта с дисперсным битумом в сочетании с разработанной в СГТУ технологией ремонта дорожных покрытий позволяет производить ремонт выбоин любых размеров с любой конфигурацией в плане. Содержащаяся в регенерированной смеси пластичная пастовая часть (вода, минеральный порошок и дисперсный битум) способствует формированию монолитного шва сопряжения со старым асфальтобетоном и нижним слоем покрытия, поэтому отсутствует необходимость выравнивания геометрического очертания ремонтных карт и придания вертикальности их стенкам, предварительной подгрунтовки битумом дна и стенок ремонтных карт.



Рисунок 3 – Общий вид отремонтированного участка после нанесения дорожной разметки

Учитывая отсутствие необходимости применения специального оборудования для транспортировки, привлечения специализированного персонала, простоту использования, применение инструментов для ручной укладки и несложную технологию осуществления ямочного ремонта все работы могут выполняться одним человеком на площади до 1 м².

Важно отметить, что участки автомобильных дорог, отремонтированные холодными регенерированными смесями с дисперсными битумами, практически не выделяются по цвету от основной площади дорожного покрытия (рисунок 3), что способствует эстетическому восприятию целой поверхности покрытия, оказывает благоприятное воздействие на прогнозирование водителями дорожной обстановки, повышает уровень безопасности дорожного движения и позволяет рекомендовать регенерированные смеси для устранения различных разрушений, ямочного и косметического ремонта дорожных покрытий в период их подготовки к процессу нанесения разметочного материала.

Автор статьи выражает благодарность кандидату технических наук, профессору Горнаеву Н.А. и аспиранту кафедры СОД СГТУ Андронову С.Ю. за предоставленные материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушенин, Е. По каким дорогам мы въезжаем в XXI век? [Текст] / Е. Ушенин // Транспорт России, 2006. – № 36 (428).
2. Дорохин, С. Ямочный ремонт дороги. Традиционные и новые методы [Текст] / С. Дорохин // Основные средства, 2006. – № 6.
3. Пат. 2351703 Российская Федерация. Способ приготовления холодной органоминеральной смеси для дорожных покрытий / Н.А. Горнаев, В.Е. Никишин, С.М. Евтеева, С.Ю. Андронов, А.С. Пыжов; заявл. 15.02.08; опубл. 10.04.09, Бюл. № 10. – 10 с.

4. СТО 59408245-01-2009. Стандарт организации. Регенерированные асфальтовые смеси для ремонта дорожных покрытий при подготовке к нанесению разметочного материала. – Саратов. ООО ПКФ «Интер КБ». 2009. – 24 с.

Евтеева Светлана Михайловна

Саратовский государственный технический университет, г. Саратов

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство дорог и организация движения»

Тел.: +7 (8452) 24-01-32; 8-927-279-44-64

E-mail: evteevasm@yandex.ru

EVTEEVA S.M.

EXPERIENCE OF USE OF REPAIR MIXES BY PREPARATION OF THE SURFACE OF ROAD COVERINGS FOR DRAWING OF THE HORIZONTAL MARKING

Significant impact on life of road marking has quality training pavement in the process applying marking material. Surface preparation includes removal an old marking material, clearing and execution patching road surfaces. For repair road surfaces are preferably used various hot asphalt preparation, production technology and the use of which has several major drawbacks. Developed at Saratov State Technical University, production technology and applications patching coating of cold reclaimed asphalt dispersed bitumen improves energy efficiency, improve environmental safety, improve conditions and increase productivity, significantly reducing the cost works as compared with the hot asphalt.

Keywords: road marking, road surface, patching, recycled mixture, dispersed bitumen.

BIBLIOGRAPHY

1. Ushenin, E. Po kakim dorogam my vezzhaem v XXI vek? [Tekst] / E. Ushenin // Transport Rossii, 2006. – №36 (428).
2. Dorohin, S. Jamochnyj remont dorogi. Tradicionnye i novye metody [Tekst] / S. Dorohin // Osnovnye sredstva, 2006. – № 6.
3. Pat. 2351703 Rossijskaja Federacija. Sposob prigotovlenija holodnoj organomineral'noj smesi dlja dorozhnyh pokrytij / N.A. Gornaev, V.E. Nikishin, S.M. Evteeva, S.Ju. Andronov, A.S. Pyzhov; zajavl. 15.02.08; opubl. 10.04.09, Bjul. № 10. – 10 s.
4. STO 59408245-01-2009. Standart organizacii. Regenerirovannye asfal'tovye smesi dlja remonta dorozhnyh pokrytij pri podgotovke k naneseniju razmetochnogo materiala. – Saratov. OOO PKF «Inter KB». 2009. – 24 s.

Evteeva Svetlana Mihajlovna

Saratov state technical university, Saratov

Candidate of technical science, associate professor of department «Construction of roads and the movement organization»

Ph.: +7 (8452) 24-01-32; 8-927-279-44-64

E-mail: evteevasm@yandex.ru

ЛАДАЕВ Н.М., ГУЮМДЖЯН П.П., ЖБАНОВА Е.В.

ОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ МАТЕРИАЛОВ В МЕЛЬНИЦЕ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Приводятся результаты исследований по измельчению одиночных частиц при однократном измельчении в мельнице ударного действия. Установлено, что измельчение определяется вероятностью разрушения и зависит от свойств материала, его начального размера и скорости удара. Определена скорость, при которой материал начинает разрушаться. Определено, что вероятность разрушения значительно изменяется в диапазоне безразмерного комплекса равного от 1 до 3. Дальнейшее увеличение этого комплекса приводит к незначительному увеличению вероятности разрушения. Исследования показали, что с увеличением скорости удара увеличивается не только вероятность разрушения, но и уменьшается на 50% диаметр частиц полученных осколков. Получена зависимость для определения того размера.

Ключевые слова: начальный размер частиц, 50% размер частиц, вероятность разрушения, скорость удара.

Технология производства дисперсных порошков одна из наиболее энергоемких операций. Исследования последних лет показали, что наиболее предпочтительным для производства дисперсных порошков узкого гранулометрического состава являются мельницы ударного действия [1, 2]. Эти устройства, как правило, малогабаритны, высокопроизводительны и, что немаловажно, являются машинами непрерывного действия. Кроме этого экономичность мельниц ударного действия заключается в том, что время нахождения частиц диспергируемого материала в зоне разрушения, т.е. в мельнице бесконечно мало и соответствует долям секунды.

Теоретические и экспериментальные исследования процесса разрушения как одиночных частиц, так и коллектива ударом показали, что при высоких скоростях измельчения большинство материалов, в том числе и «упругие» раскалываются как хрупкие. По всей вероятности при высокоскоростном ударе в материале при его контакте с неподвижной преградой или движущей с большой скоростью реализуются лишь растягивающие напряжения [3].

Для подтверждения выше приведенных выводов нами были проведены дополнительные исследования процесса разрушения одиночных частиц известняка в интервале размеров $10 \div 0,1$ мм на установке, принцип работы которой подробно изложено в работе [4]. Разрушению подвергались частицы при скоростях удара $10 \div 300$ м/с. Было установлено, что вероятность разрушения (энергетический параметр) зависит от скорости удара (рисунок 1). При одной и той же скорости удара вероятность разрушения более мелких частиц снижается. Таким образом, вероятность разрушения частиц известняка при ударе зависит от начального размера кусков и скорости нагружения.

Установлено, что существует некая скорость удара, при которой наблюдается начало разрушения ($\mathcal{G}_{нр}$). Обработка результатов экспериментальных исследований позволила найти величину ($\mathcal{G}_{нр}$) в явном виде (рисунок 2):

$$\mathcal{G}_{нр} = 4,4 \cdot \left(0,9 + 2,5 / d_n^{0,5} \right), \quad (1)$$

где d_n – начальный диаметр частиц известняка, мм.

Увеличение величины скорости ($\mathcal{G}_{нр}$) с уменьшением начального размера частиц известняка не противоречит физической картине разрушения.

Вероятность разрушения одиночных частиц зависит не только от ($\mathcal{G}_{нр}$), но и от начальной скорости удара:

$$P = 1 - \exp\left\{-\left(\mathcal{G} - \mathcal{G}_{\text{нр}}\right) / b \cdot \mathcal{G}_{\text{нр}}\right\}, \quad (2)$$

где \mathcal{G} – скорость удара в момент разрушения, м/с; b – коэффициент зависящий от физико-механических свойств материалов, например для известняка $b=3,2$.

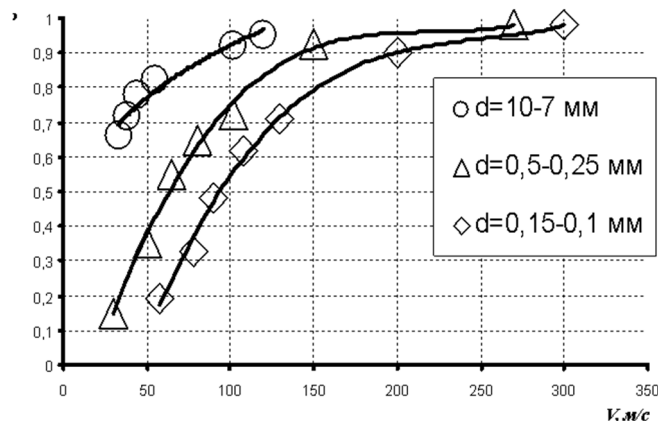


Рисунок 1 – Влияние скорости удара на вероятность разрушения

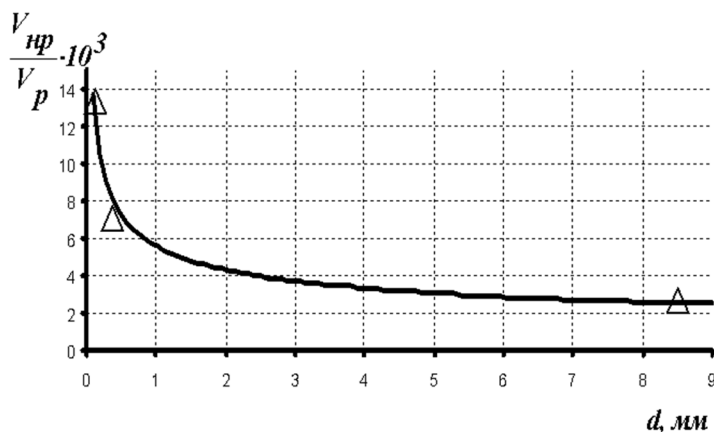


Рисунок 2 – Зависимость $V_{\text{нр}}/V_p$ от размера частиц

Адекватность между уравнением (2) и данными экспериментальных исследований представлена на рисунке 3.

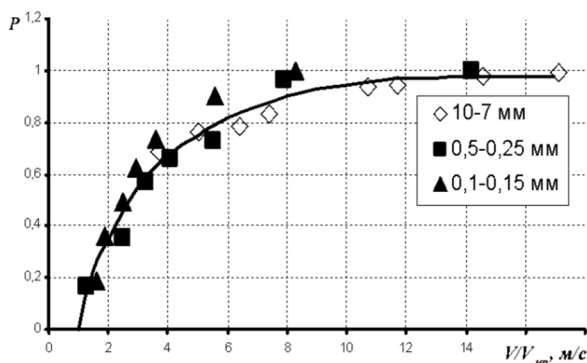


Рисунок 3 – Изменение вероятности разрушения известняка от отношения $\mathcal{G} / \mathcal{G}_{\text{нр}}$

Уравнение (2) показывает, что вероятность разрушения частиц известняка при ударе изменяется пропорционально e^{-n} , где величина показателя степени n :

$$n = \left(\mathcal{G} - \mathcal{G}_{\text{нр}}\right) / 3,2 \cdot \mathcal{G}_{\text{нр}}. \quad (3)$$

Исследуя значение показателя (n) и его влияние на вероятность разрушения, было установлено, что при $n=1$ вероятность составляет 0,63, при $n=2$ – 0,85, а при $n=3$ – 0,95. При дальнейшем увеличении значения показателя (n) не приводит к существенному росту (P , рисунок 3). Характерным является и тот факт, что полученные зависимости справедливы при разрушении и других материалов (мел, кварц, базальт), отличающихся от известняка начальными физико-механическими свойствами.

В ходе экспериментальных исследований было также установлено, что с ростом скорости удара увеличивается не только вероятность разрушения, но и уменьшается средний размер полученных осколков. За средний размер полученных осколков принимали 50% фракции, прошедшей через сито. Обработка данных эксперимента позволили получить зависимость вида:

$$d_{50} / d_n = (1 - P), \quad (4)$$

где d_n – средний начальный размер частиц до разрушения, м.

Совместное решение уравнений (2) и (4) позволили найти зависимость, по которому можно рассчитать средний размер (d_{50}) полученных осколков:

$$d_{50} = d_n \exp\left[-\left(\vartheta - \vartheta_{np}\right) / 3,2 \cdot \vartheta_{np}\right]. \quad (5)$$

Уравнение (5) позволяет нам, зная начальный размер частиц до разрушения рассчитывать средний размер полученных осколков. Полученные результаты по разрушению одиночных частиц позволяют перейти к расчету дисперсионного состава готового продукта, измельченных в мельницах ударного принципа действия, манипулируя при этом средними размерами кусков на ее входе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гундоров, И.Н. Исследование процесса тонкого измельчения твердых эпоксидных композиций в ударно-отражательной мельнице, работающей в замкнутом цикле [Текст] / И.Н. Гундоров, Н.Н. Гелькерин // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1969. – № 4. – С. 59-62.
2. Румпф, Г. Физика процесса разрушения [Текст] / Г. Румпф. В кн. Труды Европейского совещания по измельчению. – М.: Стройиздат. – 1986. – С. 27-38.
3. Жбанова, Е.В. Экспериментальные исследования процесса разрушения одиночных частиц ударом [Текст] / Е.В. Жбанова, Н.М. Ладаев, П.П. Гуюмджян // Вестник научно-промышленного общества. – М.: АЛЕВ-В, 2004. – Вып. 8. – С. 46-47.
4. Ладаев, Н.М. О Критерии разрушения одиночных частиц хрупких материалов ударом [Текст] / Н.М. Ладаев, П.П. Гуюмджян, Е.В. Жбанова // Информационная среда ВУЗа, Материалы XV международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГАСУ, 2008. – С. 837-839.

Ладаев Николай Михайлович

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Производство строительных материалов»
Тел.: +7 (4932)41-36-09
E-mail: k_psm@igasu.ru

Гуюмджян Перч Погосович

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново
Доктор технических наук, профессор кафедры «Производство строительных материалов»
Тел.: +7 (4932)41-36-09
E-mail: k_psm@igasu.ru

Жбанова Елена Валентиновна

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Производство строительных материалов»
Тел.: +7 (4932)41-36-09
E-mail: k_psm@igasu.ru

LADAEV N.M., GUYUMDZHJAN P.P., ZHBANOVA E.V.

ABOUT CRUSHING OF MATERIALS IN THE MILL OF SHOCK ACTION

The results of studies on crushing of single particles with a single grinding in the mill of impact action. It has been established that grinding is determined by the probability of destruction and depends on the properties of the material, its initial size and speed of impact. The speed, at which the material begins to break down. It is determined that the probability of destruction varies considerably in the range of the dimensionless complex equal from 1 to 3. A further increase of this complex leads to insignificant increase of the probability of failure. Researches have shown, that with increase in impact speed increases not only the probability of failure, but also decreases 50% of the diameter of the particles of debris. Relation was obtained for determination of the size.

Keywords: initial size of particles, 50% of the size of the particles, the probability of destruction, the impact velocity.

BIBLIOGRAPHY

1. Gundorov, I.N. Issledovanie processa tonkogo izmel'chenija tverdyh jepoksidnyh kompozicij v udarno-otrazhatel'noj mel'nice, rabotajuwej v zamknutom cikle [Tekst] / I.N. Gundurov, N.N. Gel'kerin // Lakokrasochnye materialy i ih primenenie. – 1969. – № 4. – С. 59-62.
2. Rumpf, G. Fizika processa razrushenija [Tekst] / G. Rumpf. V kn. Trudy Evropejskogo soveshanija po izmel'cheniju. – M.: Strojizdat. – 1986. – С. 27-38.
3. Zhbanova, E.V. Jeksperimental'nye issledovanija processa razrushenija odinochnyh chastic udarom [Tekst] / E.V. Zhbanova, N.M. Ladaev, P.P. Gujumdzhjan // Vestnik nauchno-promyshlennogo obwestva. – M.: ALEV-V, 2004. – Vyp. 8. – S. 46-47.
4. Ladaev, N.M. O Kriterii razrushenija odinochnyh chastic hrupkih materialov udarom [Tekst] / N.M. Ladaev, P.P. Gujumdzhjan, E.V. Zhbanova // Informacionnaja sreda VUZa, Materialy XV mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. – Ivanovo: IGASU, 2008. – S. 837-839.

Ladaev Nikolay Mihajlovich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Candidate of technical science, associate professor of department «Manufacture of building materials»

Ph.: +7 (4932) 41-36-09

E-mail: k_psm@igasu.ru

Gujumdzhjan Perch Pogosovich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Doctor of technical science, professor of department «Manufacture of building materials»

Ph.: +7 (4932) 41-36-09

E-mail: k_psm@igasu.ru

Zhbanova Elena Valentinovna

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Candidate of technical science, senior teache of department «Manufacture of building materials»

Ph.: +7 (4932) 41-36-09

E-mail: k_psm@igasu.ru

МИГУНОВ В.Н., ОВЧИННИКОВ И.И.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННИХ ФАКТОРОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОБЫЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ С УЧЕТОМ КОРРОЗИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

Представлена методика исследования степени агрессивности жидкой среды, содержащей хлорид-ионы, по отношению к коррозионному поражению арматуры в поперечной трещине железобетонного элемента. Показаны результаты электрохимических и физических длительных коррозионных испытаний арматуры в поперечных трещинах бетона. Представлена методика исследования долговечности железобетонных элементов в зависимости от внутренних факторов. Определены функциональные зависимости величины коррозионного поражения арматуры гладкого и периодического профиля от внутренних факторов железобетонных элементов в период возникновения продольных трещин.

Ключевые слова: долговечность, железобетонные конструкции, поперечные трещины, продольные трещины, арматура, хлорид-ионы, профиль арматуры, класс бетона, толщина защитного слоя.

Постановка задачи исследования

Минимальная нормативная долговечность капитальных зданий с несущими железобетонными конструкциями из тяжелого бетона составляет величину не менее 50 лет. Фактическая долговечность железобетонных конструкций, рассчитанных по 3-й категории трещиностойкости, в агрессивных условиях определяется коррозионным поражением арматуры в поперечных трещинах бетона и во многих случаях составляет величину в несколько раз меньшую нормативной [1-3].

Допустимое коррозионное поражение арматуры в СНиП 2.03.11-85* обеспечивается соответствующей степенью ограничения ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} в различных агрессивных средах. Однако это ограничение не учитывает вероятность появления продольных трещин в защитном слое бетона в результате действия на конструкции жидких агрессивных сред, содержащих хлорид-ионы [1, 4, 5].

По имеющимся научным данным именно продольные трещины во многих случаях приводят обычные железобетонные конструкции в предаварийное состояние [2].

Вопрос о допустимой ширине раскрытия поперечных трещин (a_{crc}^H) по условию обеспечения нормативной долговечности железобетонных конструкций должен решаться дифференцированно в зависимости от характера и степени агрессивности среды, а также от вида и диаметра арматуры [2].

Причинами несоответствия нормативной и фактической долговечности обычных железобетонных конструкций в жидких агрессивных средах, содержащих хлорид-ионы, является отсутствие в СНиП 2.03.11-85* взаимосвязей между степенью агрессивности среды с диаметром и видом арматуры [1].

Постановка первой задачи экспериментального исследования заключается в определении степени агрессивности жидкой среды с учетом концентрации хлорид-ионов по отношению к коррозионному поражению арматуры гладкого профиля с малым диаметром в поперечных трещинах при фиксированной a_{crc} .

Вторая задача экспериментальных исследований железобетонных элементов без поперечных трещин предусматривает определение функциональных зависимостей времени до появления продольных трещин и глубины поражения арматуры от внутренних факторов: профиля и диаметра арматуры, класса и толщины защитного слоя бетона.

Методика исследований

Проведение длительных лабораторных и натурных исследований включает в себя методическое обоснование следующих научных положений.

1. Разработку методики исследования степени коррозионной опасности арматуры в поперечных трещинах железобетонных элементов при действии агрессивной среды.

2. Обоснование концентрации хлорид-ионов в рабочем растворе по степени агрессивности к коррозионному поражению арматуры в поперечных трещинах бетона при фиксированных значениях $a_{срс}$.

3. Определение допустимого значения концентрации хлорид-ионов в растворе в зависимости от критической величины относительного уменьшения диаметра арматуры в результате ее коррозионного поражения в поперечных трещинах.

4. Выбор геометрических, технологических и конструктивных параметров опытных образцов, моделирующих железобетонные блоки между поперечными трещинами.

5. Обоснование концентрации хлорид-ионов, используемых в качестве добавки в бетонную смесь, для образования продольных трещин в защитном слое бетона.

6. Использование для длительных испытаний железобетонных образцов методики сбалансированного многофакторного эксперимента.

7. Применение соответствующих методик для определения эффективного коэффициента диффузии углекислого газа в бетоне и глубины коррозионного поражения арматуры.

Процесс исследования

Степень агрессивности жидкой среды по отношению к коррозионному поражению арматуры в трещинах бетона в зависимости от концентрации хлорид-ионов исследовалась на 66 призмах с размерами 280×40×40 мм.

Образцы были изготовлены из алитового среднеалюминатного портландцемента. Бетон имел пониженную проницаемость с прочностью 31 МПа, водопоглощение по массе 5%, эффективный коэффициент диффузии CO_2 в бетоне $0,53 \text{ см}^2/\text{с} \cdot 10^{-4}$ [6].

Каждая призма армирована 1Ø5 мм Вр-I и имела одну трещину с величиной раскрытия $a_{срс} = 0,20$ мм. Обоснованием выбора гладкого профиля и соответствующей величины диаметра арматуры явилась их повышенная степень опасности к коррозионному поражению и относительному снижению несущей способности, а величины раскрытия трещины – ее наличие в таблице 11 СНиП 2.03.11-85*, как максимальной предельной допустимой ширины раскрытия $a_{срс}$ [1, 2].

Железобетонные элементы испытывали воздействие раствора хлористого натрия, имеющего различную нормальность: 0 (пресная вода); 0,01; 0,10; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50 и 1 Н. Выполнено 100 циклов увлажнения с последующим высушиванием. Периоды увлажнения и высушивания в одном цикле соответственно составляют 8 и 40 часов.

Для проведения электрохимических исследований процесса коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона использовалась разработанная методика испытания [7].

Для определения соответствующих значений коррозионного поражения арматуры классов А-I и А-III в период появления и раскрытия продольных трещин в защитном слое бетона проведены длительные экспериментальные исследования железобетонных образцов в агрессивной среде. Образцы имитируют блоки между поперечными трещинами в железобетонных элементах. Испытано 18 серий образцов длиной 240 мм по 6 балочек в каждой. Железобетонные элементы имеют один арматурный стержень класса А-I или А-III диаметром (d) 10; 14 и 18 мм и толщину защитного слоя бетона (δ) 15; 25 и 35 мм (таблица 1). Применялся бетон с техническими характеристиками: классом (В) 15; 22,5 и 30; водоцементным отношением 0,67; 0,55 и 0,45; эффективным коэффициентом диффузии CO_2 в бетоне ($\text{см}^2/\text{с} \cdot 10^{-4}$) 0,17; 0,53 и 1,8 [6, 8].

Таблица 1 – Технические характеристики железобетонных образцов

№ серии	Размеры поперечного сечения, мм	Класс арматуры	d , мм	δ мм	$\Phi = d/a$	Коэффициент армирования μ , %
1(2)	100•80	A-I(A-III)	10	35	0,286	1,52
3(4)	100•60	A-I(A-III)	10	25	0,400	1,76
5(6)	100•40	A-I(A-III)	10	15	0,667	2,32
7(8)	100•84	A-I(A-III)	14	35	0,400	2,85
9(10)	100•64	A-I(A-III)	14	25	0,560	3,24
11(12)	100•44	A-I(A-III)	14	15	0,933	4,15
13(14)	100•88	A-I(A-III)	18	35	0,514	4,51
15(16)	100•68	A-I(A-III)	18	25	0,720	5,05
17(18)	100•48	A-I(A-III)	18	15	1,200	6,30

Основой методики испытания является сбалансированный многофакторный эксперимент, где 3 независимых параметра внутренних факторов железобетонных элементов принимаются на трех уровнях: d – 10; 14 и 18 мм; δ – 15; 25 и 35 мм; B15; 22,5 и 30 [9].

В соответствии с имеющимися методиками испытания железобетона в хлоридсодержащих средах для ускорения процесса коррозии арматуры в бетонную смесь при изготовлении образцов вводился хлористый натрий – 5% от массы цемента. Испытание железобетонных элементов проводилось в течение 22 месяцев в атмосферных условиях с периодическим, не реже двух раз в сутки, увлажнением водопроводной водой. Данные условия характеризуются как сильноагрессивные по интенсивности коррозионного поражения арматуры [2].

Результаты экспериментальных исследований

Электрохимические и физические результаты испытания показывают увеличение коррозионного тока, глубины поражения арматуры, уменьшение массы металла и прочности арматуры на растяжение в трещинах бетона при увеличении концентрации раствора $NaCl$ до 0,2 нормального (рисунки 1, 2). При этом максимальный коэффициент ускорения коррозионного процесса на арматуре составляет $K_{уск}^{max} = 10$ [10].

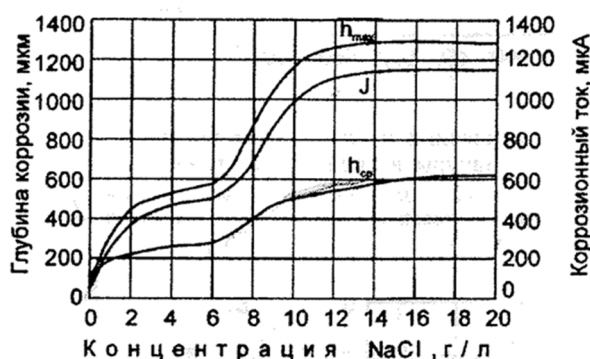


Рисунок 1 – Зависимости глубины коррозии арматуры и коррозионного тока в трещинах бетона от концентрации раствора $NaCl$ h_{cp} , h_{max} – соответственно средняя и максимальная глубина коррозии арматуры; j – коррозионный ток

Степени агрессивности жидкой среды для принятых условий испытания устанавливались в зависимости от средней глубины коррозионного поражения арматуры с учетом снижения ее несущей способности. По данным научных источников, критическим значением относительного уменьшения диаметра арматуры с учетом максимального уровня снижения ее несущей способности является величина 15%. Для арматуры в нашем эксперименте – это соответствует значению 750 мкм, что равняется средней глубине коррозионного поражения

арматуры $\delta_{cp}=375$ мкм и 6% снижению ее прочности. По степени агрессивного воздействия опытная критическая величина содержания хлорид-ионов 4500 мг/л соответствует величине, приведенной в таблице 7 СНиП 2.03.11-85*, как для средней степени агрессивности [1, 11].



Рисунок 2 – Зависимости прочности при растяжении арматуры и потери массы металла от глубины коррозионных язв: 1 – прочность при растяжении; 2 – потеря массы металла

Степени агрессивности жидкой среды в трещинах с $a_{crc} = 0,20$ мм в зависимости от концентрации в растворе хлорид-ионов, физических и электрохимических показателей арматуры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные химические, физические и электрохимические характеристики жидкой агрессивной среды и арматуры

Степень агрессивности среды	Средняя глубина поражения, мкм	Концентрация хлорид-ионов в пересчете на Cl^- , мг/л	Коррозионный ток, мкА	Снижение прочности стержня, %	Потеря металла		Концентрация $NaCl$, г/л
					мг	%	
Слабо-агрессивная	50	до 350	100	0	0,10	0,29	0,6
Средне-агрессивная	300	выше 350 до 3650	500	3,9	0,28	0,81	6,0
Сильно-агрессивная	более 300	свыше 3650	более 500	более 3,9	более 0,28	более 0,81	более 6,0
Критическая - экспериментальная	375	4500	650	6,0	0,32	0,92	7,5

По степени оценки сильноагрессивной среды разница в концентрациях хлорид-ионов между нормативным ($Cl^- = 5000$ мг/л) и опытным ($Cl^- = 3650$ мг/л) значениями для представленных условий испытания может быть учтена в таблице 11 СНиП 2.03.11-85* за счет изменения соответствующих значений a_{crc} [1].

Продольные трещины в защитном слое бетона образцов, имитирующих железобетонные блоки между поперечными трещинами, образовывались в сроки от 2 до 18 месяцев. В зависимости от вида, диаметра арматуры и толщины защитного слоя бетона раскрытие трещин шириной $a_{пт} = 0,10$ мм происходило при средней глубине поражения арматуры 300-600 мкм.

При эксплуатации конструкции в слабо- или среднеагрессивной среде, когда процесс коррозии арматуры в бетоне протекает со сравнительно меньшей скоростью, экономически целесообразно увеличить период до раскрытия продольной трещины в несколько раз за счет изменения показателя Φ (отношение диаметра арматуры к толщине защитного слоя бетона, $\Phi = d/\delta$) (рисунок 3).

С учетом повышения долговечности конструкций и снижения расхода арматурной стали экономически целесообразно принимать значение показателя $\Phi = 0,4$. Эта величина определяет для защитного слоя бетона с δ (15; 20; 25; 30 и 35 мм) соответствующие диаметры стержней арматуры d (6; 8; 10; 12 и 14 мм).

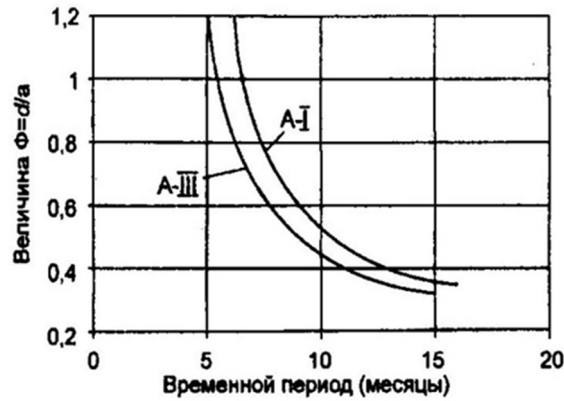


Рисунок 3 – Влияние показателя $\Phi = (d/\delta)$ на период до появления продольных трещин в бетоне защитного слоя

Полученные результаты эксперимента выявили функциональные зависимости между периодом до появления продольных трещин, характеристиками коррозионного поражения арматуры от внутренних конструктивных и технологических факторов железобетонных элементов.

В таблице 3 приведены уравнения регрессии зависимостей продолжительности периода до появления продольных трещин (T), средней (δ_{cp}) и максимальной (δ_{max}) глубины поражения арматуры от величин диаметра арматуры (d), толщины защитного слоя (δ) и класса бетона (B).

Таблица 3 – Уравнение функций T (мес.), δ_{cp} и δ_{max} (мкм)

Класс арматуры	Уравнение функции $T; \delta_{cp}; \delta_{max}=f(d, \delta, B)$	Для параметров опытных внутренних факторов	
		max	min
А-I	$T = 0.0126211(13,84 - 0,34d)(0,46\delta)(7,88 + 0,03B)$	18,7	5,6
А-III	$T = 0,0160762(11,00 - 0,21d)(0,38\delta)(7,00 + 0,04B)$	15,6	5,0
А-I	$\delta_{cp} = 0.0000059(556 - 14,0d)(141 + 8,8\delta)(292 + 4,1B)$	457	173
А-III	$\delta_{cp} = 0.0000049(727 - 16,9d)(216 + 9,5\delta)(421 + 2,3B)$	733	338
А-I	$\delta_{max} = 0,0000012(1128 - 15,0d)(559 + 12,8\delta)(700 + 9,2B)$	1150	722
А-III	$\delta_{max} = 0,0000013(1100 - 19,6d)(500 + 16,7\delta)(800 + 4,0B)$	1173	627

Результаты расчета по функциональным зависимостям значений граничных параметров опытных внутренних конструктивных и технологических факторов для арматуры класса А-I и А-III дают значительное расхождение только в величинах средней глубины поражения δ_{cp} – соответственно 38 и 49%.

Из внутренних факторов наибольшее влияние на функциональные зависимости оказывают диаметр арматуры и толщина защитного слоя бетона (таблица 4).

Выполненные исследования позволили получить экспериментальный материал, который может являться основой для математического моделирования процесса коррозии арматуры в бетоне с учетом различных факторов, влияющих на долговечность железобетонных элементов [12].

Таблица 4 – Степень влияния внутренних факторов на период до появления продольных трещин и характеристики коррозионного поражения арматуры классов А-I и А-III

Наименование функций по таблице 3	Класс арматуры	Проценты		
		d	δ	ϵ
T	А-I/А-III	41/33	52/59	55/60
δ_{cp}	А-I/А-III	41/48	33/33	15/8
δ_{max}	А-I/А-III		35/42	24/10

Выводы

- экспериментальные исследования были осуществлены благодаря использованию разработанных методик коррозионных испытаний железобетонных элементов и арматуры в жидких агрессивных средах;

- для арматуры гладкого профиля строительных сталей, имеющих диаметр 5 мм, в поперечных трещинах железобетонных элементах с $a_{crc} = 0,20$ мм опытная критическая величина содержания хлорид – ионов 4500 мг/л соответствует нормативной величине как для средней степени агрессивности;

- при эксплуатации железобетонных конструкций с гладкой арматурой диаметром 5 мм и величинами $a_{crc} = 0,20$ мм в сильноагрессивной среде, содержащей хлорид-ионы, нормативную концентрацию хлорид-ионов необходимо уменьшить с 5000 мг/л до 3650 мг/л.

- в зависимости от вида и диаметра арматуры толщины защитного слоя бетона раскрытие продольных трещин с $a_{пт} = 0,10$ мм происходило при средней глубине поражения арматуры 300-600 мкм;

- получены уравнения регрессии зависимостей длительности периода до появления продольных трещин, средней и максимальной глубины поражения арматуры от характера поверхности стержня, величин диаметра арматуры, толщины защитного слоя и класса бетона;

- для увеличения периода до образования продольных трещин, особенно в слабой или среднеагрессивной среде, содержащей хлорид-ионы, экономически целесообразно принимать значение показателя $\Phi \leq 0,4$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.03.11-85*. Защита строительных конструкций от коррозии [Текст]. – М.: Госстрой России, 1997. – 48 с.
2. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах [Текст] / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шисль. – М.: Стройиздат, 1990. – С. 153-168, 256-258.
3. Мигунов, В.Н. Коррозия арматуры в трещинах железобетонных конструкций в газовой атмосфере производственных зданий [Текст] / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – №8. – С. 4-9.
4. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст]. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 24 с.
5. СП 52-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству [Текст]. – М.: ФГУП ЦПП, 2004 – 53 с.
6. Пособие по проектированию защиты от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций: (к СНиП 2.03.11-85) [Текст] / НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1989. – С. 140-141.
7. Мигунов, В.Н. Неразрушающий метод контроля коррозии стали в трещинах бетона: ИЛ оНТД №87-26 [Текст] / В.Н. Мигунов // ЦНТИ. – Пенза, 1987. – 4 с.
8. Мигунов, В.Н. Влияние внутренних факторов на скорость образования продольных трещин железобетонных конструкций с учетом коррозионного поражения арматуры класса А-I и А-III [Текст] / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. – 2003. – № 3. – С. 121-123.
9. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – С. 185-193.
10. Мигунов, В.Н. Влияние переменной нагрузки и амплитуды изменения ширины раскрытия трещин на коррозионное поражение арматуры в трещинах железобетонных конструкций [Текст] / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. – 2002. – № 10. – С. 134-137.
11. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении [Текст] / Харьковский Промстройинипроект. – М.: Стройиздат, 1990. – 9 с.
12. Овчинников, И.И. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами [Текст] / И.И. Овчинников, Г.А. Наумова. – Волгоград: ВолгГАСУ. – 2007. – 272 с.

Мигунов Виктор Николаевич

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза
Кандидат технических наук, доцент
Тел.: +7 (841) 2-31-66-40
E-mail: Viktor5043@rambler.ru

Овчинников Иван Игоревич

Саратовский государственный технический университет, г. Саратов
Кандидат технических наук, доцент
Тел.: +7 (8452) 56-72-13
E-mail: bridgeart@mail.ru

METHOD OF DETERMINING OF INTERNAL FACTORS INFLUENCE ON THE DURABILITY OF CONCRETE ELEMENTS OF CONVENTIONAL CONCRETE SPECIMENS BASED CORROSION OF DESTRUCTION ARMATURE

The technique of examining the degree of aggressiveness of the liquid medium containing chloride-ions, relative to the corrosion damage of reinforcement in the transverse crack reinforced concrete element. Shows the results of electrochemical and physical long-term corrosion tests of reinforcement in the transverse cracks. A method for the study of durability of reinforced concrete elements, depending on internal factors. Establishes the functional dependence of the corrosion damage values smooth and periodic profile on internal factors reinforced concrete elements in the period of longitudinal cracks.

Keywords: durability, concrete structures, transverse cracks, longitudinal cracks, fittings, chloride-ions, the profile of reinforcement, concrete class, the thickness of the protective layer.

BIBLIOGRAPHY

1. SNiP 2.03.11-85*. Zawita stroitel'nyh konstrukcij ot korrozii [Tekst]. – M.: Gosstroj Rossii, 1997. – 48 s.
2. Alekseev, S.N. Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnyh sredah [Tekst] / S.N. Alekseev, F.M. Ivanov, S. Modry, P. Shissl'. – M.: Strojizdat, 1990. – S. 153-168, 256-258.
3. Migunov, V.N. Korrozija armatury v trewinah zhelezobetonnyh konstrukcij v gazovozdushnoj atmosfere proizvodstvennyh zdaniy [Tekst] / V.N. Migunov // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2008. – №8. – S. 4-9.
4. SNiP 52-01-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija [Tekst]. – M.: FGUP CPP, 2004. – 24 s.
5. SP 52-101-2003. Svod pravil po proektirovaniju i stroitel'stvu [Tekst]. – M.: FGUP CPP, 2004 – 53 s.
6. Posobie po proektirovaniju zawity ot korrozii betonnyh i zhelezobetonnyh stroitel'nyh konstrukcij: (k SNiP 2.03.11-85) [Tekst] / NIIZhB Gosstroja SSSR. – M.: Strojizdat, 1989. – S. 140-141.
7. Migunov, V.N. Nerazrushajuwij metod kontrolja korrozii stali v trewinah betona: IL oNTD №87-26 [Tekst] / V.N. Migunov // CNTI. – Penza, 1987. – 4 s.
8. Migunov, V.N. Vlijanie vnutrennih faktorov na skorost' obrazowanija prodol'nyh trewin zhelezobetonnyh konstrukcij s uchjotom korrozionnogo porazhenija armatury klassa A-I i A-III [Tekst] / V.N. Migunov // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2003. – № 3. – S. 121-123.
9. Shenk, H. Teorija inzhenerenogo jeksperimenta [Tekst] / H. Shenk. – M.: Mir, 1972. – S. 185-193.
10. Migunov, V.N. Vlijanie peremennoj nagruzki i amplitudy izmenenija shiriny raskrytija trewin na korrozionnoe porazhenie armatury v trewinah zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst] / V.N. Migunov // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2002. – № 10. – S. 134-137.
11. Rekomendacii po obespečeniju nadjozhnosti i dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij promyshlennyh zdaniy i sooruzhenij pri ih rekonstrukcii i vosstanovlenii [Tekst] / Har'kovskij Promstroj-niproekt. – M.: Strojizdat, 1990. – 9 s.
12. Ovchinnikov, I.I. Nakoplenie povrezhdenij v sterzhnevnyh i plastinchatyh armirovannyh konstrukcijah, vzaimodejstvujuwih s agressivnymi seredami [Tekst] / I.I. Ovchinnikov, G.A. Naumova. – Volgograd: VolgGASU. – 2007. – 272 s.

Migunov Viktor Nikolaevich

Penza state university of architecture and construction, Penza

Candidate of technical science, associate professor

Тел.: +7 (841) 2-31-66-40

E-mail: Viktor5043@rambler.ru

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Saratov state technical university, Saratov

Candidate of technical science, associate professor

Тел.: +7 (8452) 56-72-13

E-mail: bridgeart@mail.ru

ПЛЕТМИНЦЕВ С.А.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДТП ПО ДОРОЖНЫМ УСЛОВИЯМ НА СУЩЕСТВУЮЩИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Существующие автомобильные дороги должны обеспечивать приемлемую степень риска движения автомобилей с максимальной скоростью, несмотря на то, что построены они в разные десятилетия. Поэтому требуется на основе технико-экономического расчета и оценки по теоретико-вероятностным моделям фактического риска возникновения ДТП на дорогах установить допустимый риск причинения вреда пользователям существующих дорог. Впервые определены уровни допустимого риска на существующих двухполосных и многополосных дорогах, которые допускаются как приемлемые при производстве ремонтных работ и составлении проектов организации движения.

Ключевые слова: *риск возникновения ДТП, допустимый риск, технико-экономическое обоснование, чистая приведенная ценность, сумма приведенных затрат.*

Существующие автомобильные дороги строились по различным нормативным требованиям [1-6] и поэтому параметры их геометрических элементов имеют разную степень опасности, соответствующую требованиям того или другого нормативного документа, применяемого в конкретные годы. Провести реконструкцию всех существующих автомобильных дорог под допустимую величину риска вновь построенных дорог ($1 \cdot 10^{-4}$) задача невыполнимая с экономической и технической точек зрения. Но существующие дороги должны обеспечивать приемлемую степень риска движения автомобилей с максимально допустимой скоростью, невзирая на то, что построены они в разные десятилетия (некоторые служат без реконструкции более 80 лет). Эта задача относится к разряду технико-экономических задач и требует обоснования приемлемого риска возникновения ДТП при движении автомобилей по существующим дорогам с допустимой скоростью.

Для решения этой задачи будем применять в основном два метода оценки эффективности принятых решений: «Сумму приведенных затрат» и «Чистую приведенную ценность проекта» (NPV) [7].

Задачей данного технико-экономического обоснования (ТЭО) является определение приемлемого уровня риска, при котором сумма приведенных затрат (включающая стоимость капитального ремонта или восстановления дорожной одежды, потери от ДТП и автотранспортные затраты) минимальна, а чистая приведенная ценность проекта становится максимальной при эффективных значениях внутренней нормы рентабельности. Увеличение значения допускаемого риска влечет за собой увеличение автотранспортных расходов и потерь от ДТП с одновременным уменьшением строительных затрат на капитальный ремонт дороги и усиление конструкции дорожной одежды. Отметим, что эти три вида затрат являются решающими в выборе оптимального варианта. Следовательно, минимальное значение суммы приведенных затрат и максимальное значение чистой приведенной ценности проекта определяют уровень приемлемого (допустимого) риска, который будет рекомендован к использованию при эксплуатации автомобильных дорог с различными параметрами их геометрических элементов.

Сумма приведенных затрат, как известно, складывается из дисконтированных капитальных вложений и текущих затрат за определенный период времени [7]. Суммарные капитальные вложения определяли как сумму приведенных затрат на капитальные ремонты за нормативный период эксплуатации дорожной одежды и на частичную реконструкцию особо опасных участков существующих дорог.

Разновременные затраты приводили к базисному году, за который принимали год завершения капитального ремонта или частичной реконструкции объекта. Затраты, произведенные в базисный год, принимали в натуральном виде. Затраты, предшествующие базисному году, увеличивали против натуральных путем умножения их на коэффициенты приведения затрат [7, 8]:

$$k_{\text{пр}} = (1 + E_{\text{нп}})^t,$$

где $E_{\text{нп}}$ – текущая процентная ставка (ставка дисконта); t – промежуток в годах между приведенными затратами и базисным годом.

Затраты, произведенные после базисного года, уменьшали против натуральных, умножая их на коэффициенты отдаления затрат [7, 8]:

$$k_0 = \frac{1}{(1 - E_{\text{нп}})^t}.$$

Сумму приведенных затрат определяли по формуле:

$$M = \sum_1^n K_c k_{\text{пр}} + \sum_1^{t_p} K_{\text{кр}} k_0 + \sum_1^{t_p} D k_0 + \sum_1^{t_p} S_{\text{тр}} k_0 + \sum_1^{t_p} \Pi_{\text{пас}} k_0 + \sum_1^{t_p} A k_0, \quad (1)$$

где K_c – капитальные вложения на частичную реконструкцию дороги; $K_{\text{кр}}$ – стоимость капитальных ремонтов; D – дорожно-эксплуатационные расходы; $S_{\text{тр}}$ – автотранспортные расходы; $\Pi_{\text{пас}}$ – стоимость пребывания пассажиров в пути; A – ущерб от дорожно-транспортных происшествий; n – число лет на частичную реконструкцию объекта; t_p – расчетный срок приведения затрат.

Чистую приведенную ценность проекта определяли как разность между приведенными выгодами и приведенными затратами в течение расчетного срока:

$$\overline{NPV} = \sum_1^{t_p} \frac{B_t - C_t}{(1 + E)^{t-1}}, \quad (2)$$

где \overline{NPV} – среднее значение чистой приведенной ценности проекта; t_p – расчетный период анализа проекта; t – текущий год; B_t – сумма выгод от реализации проекта в t -м году; C_t – сумма всех затрат в t -м году на повышение однородности параметра или частичную реконструкцию; E – процентная ставка.

В расчетах суммы приведенных затрат и чистой приведенной ценности значения процентных ставок принимали одинаковыми и в пределах не ниже 12% ($E \geq 0,12$).

Выгоды в расчете чистой приведенной ценности выполняемого капитального ремонта или частичной реконструкции участка дороги устанавливали относительно варианта «ни чего не делать» (соответствующему фактическому риску возникновения ДТП) по формулам:

- выгоды от снижения автотранспортных затрат:

$$B_S = S_{\text{ф}} - S_{\text{пр}}; \quad (3)$$

- выгоды от снижения ущерба от ДТП:

$$B_A = A_{\text{ф}} - A_{\text{пр}}; \quad (4)$$

- выгоды от снижения потерь, вызванных задержкой пассажиров в пути:

$$B_{\Pi} = \Pi_{\text{ф}} - \Pi_{\text{пр}}; \quad (5)$$

- выгоды от снижения дорожно-эксплуатационных расходов:

$$B_D = D_{\text{ф}} - D_{\text{пр}}. \quad (6)$$

В формулах (3)-(6): $S_{\text{ф}}$, $A_{\text{ф}}$, $\Pi_{\text{ф}}$, $D_{\text{ф}}$ – автотранспортные затраты, потери от ДТП, потери от задержек пассажиров в пути, дорожно-эксплуатационные расходы, соответствующие фактическому риску возникновения ДТП (варианту «ни чего не делать»); $S_{\text{пр}}$, $A_{\text{пр}}$, $\Pi_{\text{пр}}$, $D_{\text{пр}}$ – автотранспортные затраты, потери от ДТП, потери от задержек пассажиров в пути, дорожно-эксплуатационные расходы, соответствующие проектному риску возникновения ДТП (варианту повышения однородности исправляемого параметра или в пределах частичной реконструкции с изменением средней величины параметра дороги).

Автотранспортные расходы зависят от скорости движения, времени пребывания грузов и пассажиров в пути, уровня аварийности на дороге, интенсивности и состава движения, пропускной и провозной способности дороги, качества дорожного покрытия и геометрических параметров дороги.

Сумму приведенных транспортных расходов за расчетный период определяли по формуле:

$$\sum S_{\text{тр}} k_0 = S_{\text{тр}(1)} k_{0(1)} + S_{\text{тр}(2)} k_{0(2)} + \dots + S_{\text{тр}(t_p)} k_{0(t_p)}, \quad (7)$$

где $S_{\text{тр}(1)}$, $S_{\text{тр}(2)}$, $S_{\text{тр}(t_p)}$ – транспортные расходы в соответствующие годы эксплуатации дороги в пределах расчетного срока (t_p); $k_{0(1)}$, $k_{0(2)}$, ..., $k_{0(t_p)}$ – коэффициенты отдаления затрат в соответствующие годы эксплуатации дороги.

Автотранспортные расходы в i -й год эксплуатации определяли по формуле:

$$S_{\text{тр}(i)} = D \cdot N_{\text{сут}(i)} \cdot l \cdot S_{\text{км}(ср)}, \quad (8)$$

где D – число дней перевозок в году; $N_{\text{сут}(i)}$ – среднегодовая суточная интенсивность движения на данном маршруте в i -й (текущий) год эксплуатации дороги; l – длина маршрута, км; $S_{\text{км}(ср)}$ – средневзвешенная себестоимость одного автомобиле-километра, определяемая с учетом состава и скорости движения.

Средневзвешенную себестоимость одного автомобиле-километра определяли для каждой средней скорости по формуле:

$$S_{\text{км}(ср)} = C_{\text{пер}(ср)} + \frac{C_{\text{пос}(ср)}}{v_{\text{ср}}} + 3\Pi_{\text{ср}}, \quad (9)$$

где $C_{\text{пер}(ср)}$ – средневзвешенные с учетом состава движения переменные расходы на 1 км пробега; $C_{\text{пос}(ср)}$ – средневзвешенные постоянные расходы на 1 машино-час работы; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость транспортного потока при определенной интенсивности, км/ч; $3\Pi_{\text{ср}}$ – средневзвешенная доля заработной платы водителя на 1 км пробега.

Среднюю скорость транспортного потока при среднегодовой суточной интенсивности движения $N_{\text{сут}(i)}$ устанавливали по уравнению [8]:

$$v_{\text{ср}} = v_{\text{св}} - 0,5 \frac{N_{\text{сут}(i)}}{N_0} \left[\frac{q_0^{\text{зат}} \cdot v_{\text{св}} - \sqrt{(v_{\text{св}} \cdot q_0^{\text{зат}})^2 - 4 \cdot v_{\text{св}} \cdot q_0^{\text{зат}} \cdot N_0}}{q^{\text{зат}}} \right], \quad (10)$$

где $v_{\text{св}}$ – скорость свободного движения, км/ч; $N_{\text{сут}(i)}$ – интенсивность движения, при которой определяется скорость транспортного потока на каждой полосе дороги, авт/ч; $q_0^{\text{зат}}$ – плотность при заторе легковых автомобилей, легк.авт/км; N_0 – приведенная к легковым автомобилям интенсивность движения, легк.авт/км; $q^{\text{зат}}$ – плотность при заторе смешанного (фактического) транспортного потока, авт/км.

Для расчета средней скорости транспортного потока по формуле (10) применяли следующие исходные данные:

- интенсивность и состав движения;
- параметры геометрических элементов дороги, наличие участков с ограниченной видимостью, тип дорожной разметки, величина и направление продольного уклона.

Ущерб от ДТП, вызванный опасностью геометрических элементов дороги, определяли по методике, описанной автором в работе [9].

Суммарный риск движения по дороге при наличии двух опасных параметров и соответствующих им рисков (r_1 и r_2) вычисляется по следующей формуле [7]:

$$r_{1,2} = r_1 + r_2 - r_1 \cdot r_2. \quad (11)$$

При наличии n опасных параметров (при наличии n рисков) суммирование рисков выполняется по выражению:

$$r_{1,2,3,\dots, n} = r_{1,2,3,\dots, n-1} + r_n - r_{1,2,3,\dots, n-1} \cdot r_n. \quad (12)$$

Прогнозируемое число ДТП за одни сутки на любом участке дороги, содержащем как все опасные геометрические элементы, так и любое сочетание опасных элементов, определя-

ли в соответствии с методикой [9] по формуле:

$$n = [P_A \cdot (k_1 \cdot n_A^C \cdot N_A^C + k_2 \cdot n_A^T \cdot N_A^T) + k_3 \cdot P_B \cdot n_B \cdot N_B + k_4 \cdot P_B \cdot n_B \cdot N_B + k_5 \cdot P_\Gamma \cdot n_\Gamma \cdot N_\Gamma] \cdot l_i / L,$$

(13)

где P_A, P_B, P_V, P_Γ – вероятности возникновения аварий при уровнях обслуживания **А, Б, В** и **Г** соответственно; $n_A^C, n_A^T, n_B, n_V, n_\Gamma$ – количество часов в сутках при уровнях обслуживания **А, Б, В** и **Г**, часы; $N_A^C, N_A^T, N_B, N_V, N_\Gamma$ – средняя часовая интенсивность движения при уровнях обслуживания **А, Б, В** и **Г**, авт/ч; $k_1 = 0,07$; $k_2 = 0,01$; $k_3 = 0,04$; $k_4 = 0,02$; $k_5 = 0,01$ – коэффициенты, учитывающие расчетное количество автомобилей, водители которых реализуют высокие скорости движения, превышающие расчетные скорости, на участках между пачками автомобилей при уровнях обслуживания соответственно: **А** (в светлое k_1 и темное k_2 время суток), **Б, В** и **Г**; l_i – длина участка, км; L – длина дороги, км; l_i / L – относительная (безразмерная) длина i -го участка дороги.

В ТЭО приемлемого риска применяли следующие обозначения:

- r_1 – риск заноса (потери устойчивости) автомобиля на кривой в плане;
- r_2 – риск наезда на пешехода, находящегося на тротуаре или обочине;
- r_3 – риск наезда на пешехода или препятствие на дороге;
- r_4 – риск столкновения при разъезде или опережении;
- r_5 – риск столкновения при обгоне в условиях ограниченной видимости;
- r_6 – риск наезда на впереди идущий автомобиль;
- r_7 – риск наезда на крупную неровность.

Количество ДТП в год **по причине несовершенства дорожных условий** на i -ом участке дороги вычисляли по выражению:

$$H = n \cdot D, \tag{14}$$

где D – число рабочих дней в году.

Потери от ДТП в год **по причине несовершенства дорожных условий** на i -ом участке дороги устанавливали по зависимости:

$$A = n \cdot D \cdot Y, \tag{15}$$

где Y – средневзвешенный социально-экономический ущерб от одного ДТП в Российской Федерации, млн. руб.

Данная процедура позволяет оценивать не только суммарный риск возникновения ДТП на участках проектируемой автомобильной дороги, но и тяжесть последствий ДТП, в виде прогноза ущерба, вызванного несовершенством дорожных условий.

Стоимость потерь пребывания и задержек пассажиров в пути и дорожно-эксплуатационные расходы определяли по общепринятым методикам [7, 8].

После вычисления всех основных финансовых затрат [7] сумму приведенных расходов (рисунок 1) и чистую приведенную ценность капитального ремонта и частичной реконструкции (рисунок 2) представляли в относительных единицах. Для этого в первом методе максимальное значение суммы приведенных затрат принимали за 100 % (или за условную единицу), а во втором методе за 100% (за условную единицу) принимали максимум чистой приведенной ценности проектного решения.

На одном и том же участке существующей дороги проектировали несколько вариантов совершенствования геометрических элементов плана, продольного и поперечного профиля дороги (применяли варианты: ничего не делать; повысить однородность параметров элементов; запроектировать новый элемент дороги, соответствующий расчетной скорости). Определяли риск движения автомобилей по рассматриваемым вариантам при различных скоростях движения и определяли экономические показатели: сумму приведенных затрат и чистую приведенную ценность проектного решения с применением компьютерных программ «Транзит» и «NPV – Road», разработанных под руководством проф. Столярова В.В.

В строительную стоимость частичной реконструкции участка дороги и в стоимость капитального ремонта включали затраты на следующие виды работ:

- устройство уширения земляного полотна и повышение его однородности по ширине;
- устройство уширения и усиление дорожной одежды;
- ремонт или реконструкция искусственных сооружений (путепроводов, малых мостов, водопропускных труб и дренажей);

Некоторые выводы по полученным затратам следующие.

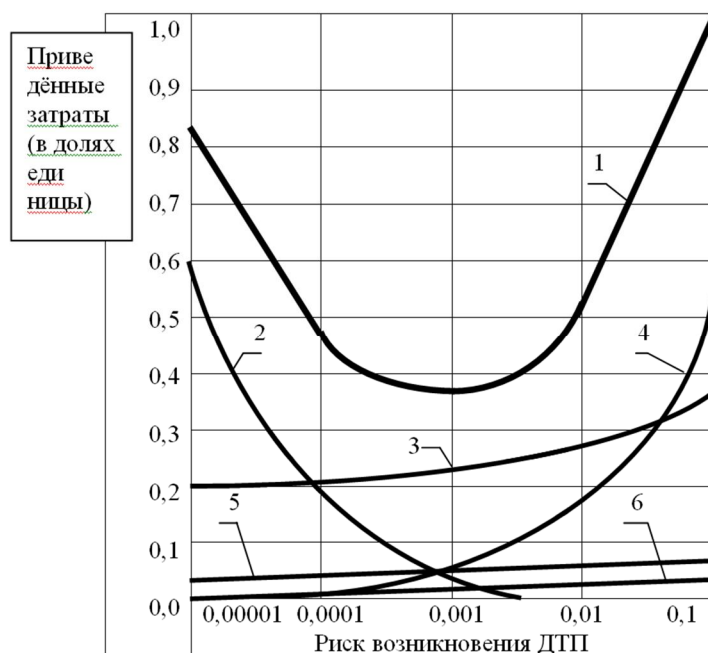


Рисунок 1 – Определение допустимого риска возникновения ДТП на существующих дорогах III технической категории по оптимальной сумме приведенных затрат на капитальный ремонт и (или) реконструкцию участков дорог: 1 – сумма приведенных затрат; 2 – стоимость повышения однородности параметров дороги и (или) частичной реконструкции ее элементов; 3 – автотранспортные затраты; 4 – потери от ДТП; 5 – стоимость пребывания пассажиров в пути; 6 – дорожно-эксплуатационные расходы

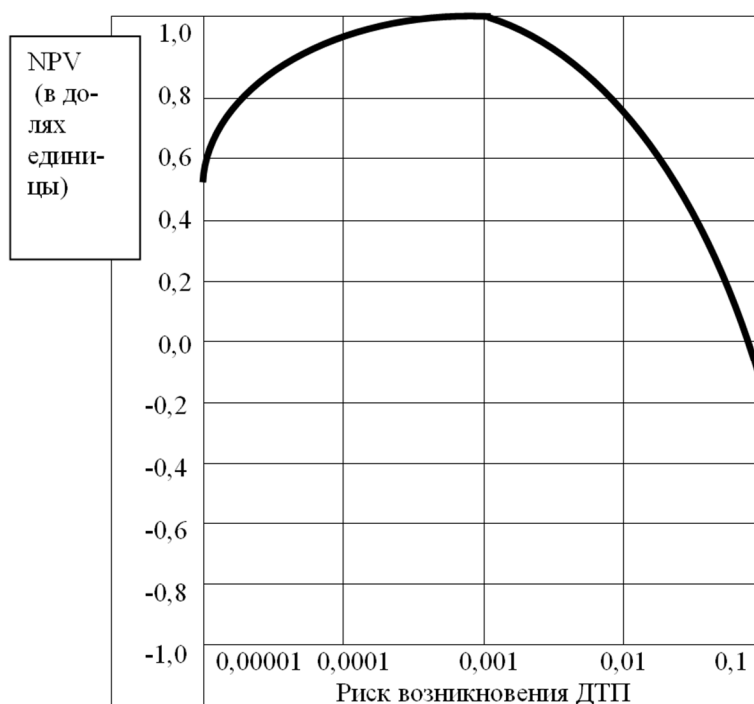


Рисунок 2 – Зависимость чистой приведенной ценности от риска возникновения ДТП на дорогах III технической категории, получаемая в результате

их ремонта или реконструкции

Транспортная работа автомобильных дорог III категории при суммарном риске возникновения ДТП, находящемся в интервале от $6 \cdot 10^{-3}$ до 0,1, поддерживается, как правило, только текущими ремонтами в процессе их содержания. При суммарном риске 0,1 наибольшая статья расходов в сумме приведенных затрат, взятой за 100%, имеет ущерб от ДТП по причине несовершенства дорожных условий, составляющий около 52% от этой суммы. На втором месте по объему расходов при суммарном риске 0,1 находятся автотранспортные расходы, которые составляют 37% от суммы приведенных затрат. Потери населения и общества от задержек, связанных с пребыванием пассажиров в пути достигают 8%. При сохранении таких показателей и риска 0,1 транспортная работа дороги поддерживается только текущим ремонтом, на который приходится расходовать около 3% от суммы приведенных затрат.

Капитальный ремонт с усилением дорожной одежды и частичной реконструкцией опасных участков дорог III категории (при суммарном риске, превышающем $6 \cdot 10^{-3}$) позволяет улучшить безопасность движения транспортных средств до рисков от 0,00001 до 0,001.

Однако только при рисках от $3 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ (0,0003 – 0,005) сумма приведенных затрат минимальна и составляет менее 40% от суммы приведенных затрат, взятых за 100% при риске 0,1 (см. рисунок 1). Как показали технико-экономические расчеты по сумме приведенных затрат все существующие двухполосные автомобильные дороги должны эксплуатироваться при **суммарном** риске, не превышающем значения $5 \cdot 10^{-3}$, а **частные** значения риска не должны превышать значения $1 \cdot 10^{-3}$.

Эти результаты практически подтверждают и несколько уточняют расчеты, выполненные по компьютерной программе «NPV-Road» – максимальные значения чистой приведенной ценности находящихся в эксплуатации дорог практически соответствуют тем же значениям риска возникновения ДТП, что и минимум суммы приведенных затрат. Так, на рисунке 2 показан пример результатов расчета чистой приведенной ценности находящихся в эксплуатации дорог III технической категории при различных рисках возникновения ДТП на их участках.

Как показали расчеты, максимум *NPV* находится практически в тех же пределах, в которых на рисунке 1 зафиксирован минимум суммы приведенных затрат (в данном случае получили, что оптимальные значения допустимого риска находятся в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$). Следовательно, окончательно на двухполосных автомобильных дорогах можно допускать частные значения рисков не более $5 \cdot 10^{-4}$, а суммарный риск не выше чем $1 \cdot 10^{-3}$.

Как показали расчеты по компьютерным программам «Транзит» и «NPV-Road» на существующих многополосных дорогах **частные и суммарные** значения приемлемого риска не должны превышать допустимый риск, определенный в работах [7, 8] для вновь проектируемых дорог. Следовательно, для существующих автомагистралей **частные** значения риска не должны быть выше величины $1 \cdot 10^{-4}$, а **суммарное** значение риска на участке многополосной дороги следует ограничивать значением $8 \cdot 10^{-4}$.

В таблице показаны значения рисков, рекомендованных в данных исследованиях в качестве допустимых рисков на существующих дорогах.

Таблица – Допустимые значения риска возникновения ДТП на опасных участках находящихся в эксплуатации автомобильных дорог

Вид допускаемого риска	Величины допускаемого риска возникновения ДТП на существующих дорогах:	
	двухполосных	многополосных
Частные значения	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Суммарное значение	$1 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические условия шоссейных дорог [Текст]. – Гушосдор. – М., 1939. – 39 с.
2. НИТУ 128-55. Автомобильные дороги [Текст]. – М., 1955. – 45 с.
3. СНиП II-Д. 5-62. Автомобильные дороги [Текст]. – М., 1962. – 48 с.
4. СНиП II-Д. 5-72. Автомобильные дороги [Текст]. – М., 1972. – 50 с.
5. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги [Текст]. – М., 1985. – 52 с.
6. СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги. – М., 1992. – 52 с.
7. Столяров, В.В. Теория риска в проектировании плана дороги и организации движения [Текст]: учеб. пособие. – Саратов: СГТУ, 1995. – 84 с.
8. Столяров, В.В. Дорожные условия и организация движения с использованием теории риска [Текст]. – Саратов: СГТУ. 1999. – 168 с.
9. Столяров, В.В. Процедура анализа и оценки тяжести ущерба при возникновении ДТП с гибелью, ранением участников движения, порчей или утратой имущества любой формы собственности [Текст] / В.В. Столяров, С.А. Плетминцев // Девятая Международная конференция. Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. – Санкт-Петербург. 2010. – С. 519-523.

PLETMINTSEV S.A.

THE TECHNICAL AND ECONOMIC REPORT ON ADMISSIBLE SIZE OF RISK OF OCCURRENCE OF ROAD ACCIDENT ON ROAD CONDITIONS ON EXISTING HIGHWAYS

Existing highways should provide comprehensible degree of risk of movement of cars with the maximum speed in spite of the fact that they are constructed in different decades. Therefore it is required on the basis of technical and economic calculation and an estimation on probability-theoretic models of actual risk of occurrence of road accident on roads to establish admissible risk of a causing to users of existing roads. For the first time levels of admissible risk on existing two-way and multiband roads which are supposed as comprehensible by manufacture of repair work and designing of the organization of movement are defined.

Keywords: risk of occurrence of road accident, admissible risk, the feasibility report, net present value, the sum of the resulted expenses.

BIBLIOGRAPHY

1. Tehnicheskie uslovija shossejnyh dorog [Tekst]. – Gushosdor. – М., 1939. – 39 s.
2. NiTU 128-55. Avtomobil'nye dorogi [Tekst]. – М., 1955. – 45 s.
3. SNiP II-D. 5-62. Avtomobil'nye dorogi [Tekst]. – М., 1962. – 48 s.
4. SNiP II-D. 5-72. Avtomobil'nye dorogi [Tekst]. – М., 1972. – 50 s.
5. SNiP 2.05.02-85. Avtomobil'nye dorogi [Tekst]. – М., 1985. – 52 s.
6. SNiP 2.05.02-85*. Avtomobil'nye dorogi. – М., 1992. – 52 s.
7. Stoljarov, V.V. Teorija riska v proektirovanii plana dorogi i organizacii dvizhenija [Tekst]: uceb. posobie. – Saratov: SGTU, 1995. – 84 s.
8. Stoljarov, V.V. Dorozhnye uslovija i organizacija dvizhenija s ispol'zovaniem teorii riska [Tekst]. – Saratov: SGTU. 1999. – 168 s.
9. Stoljarov, V.V. Procedura analiza i ocenki tjazhesti uwerba pri vozniknovenii DTP s gibel'ju, raneniem uchastnikov dvizhenija, porchej ili utratoj imuwestva ljuboj formy sobstvennosti [Tekst] / V.V. Stoljarov, S.A. Pletminev // Devjataja Mezhdunarodnaja konferencija. Organizacija i bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija v krupnyh gorodah. – Sankt-Peterburg. 2010. – S. 519-523.

Pletmintsev Sergey Alekseevich

Penza state university of architecture and construction, Penza
Post-graduate student of department «Automobile roads»
E-mail: pelm@list.ru

Уважаемые авторы!

Просим Вас ознакомиться с основными требованиями к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте www.ostu.ru.

Адрес учредителя журнала

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29
+7 (4862) 42-00-24
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oantc@mail.ru

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов, Н.В. Первых

Подписано в печать 24.06.2011 г.
Формат 70x108 1/16. Печ. л. 3,25.
Тираж 400 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.