



УДК 539.3/6:519.863

Б.М. Абдеев, Г.Е. Муслиманова, Е.Б. ШестаковаВосточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

**ОПТИМАЛЬНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СКЛАДЧАТОГО НАСТИЛА
МИНИМАЛЬНОЙ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ**

Проблема рационализации несущих элементов конструкций, в том числе складчато-волнистых панелей для строительства, авиа- и судостроения, представляет собой целый комплекс сложных многофункциональных задач механики твердого деформируемого тела и теории оптимального управления [1-3].

Гофрированные листы имеют, по сравнению с плоскими, ряд конструктивных, технологических и эксплуатационных преимуществ, важнейшим из которых является большая легкость при равной прочности. Помимо экономического эффекта, использование подобных конструктивных форм обусловливается также эстетическими достоинствами, и это видно из рис. 1, где показан типичный пример складчатого листа с треугольным очертанием срединной поверхности.

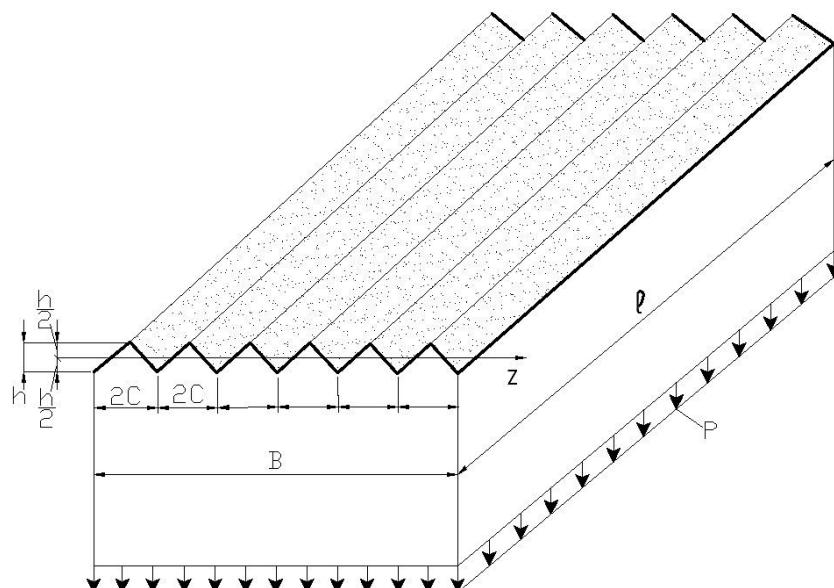


Рисунок 1 – Общий вид складчено-гофрированного настила

Тонкостенные настилы периодического профиля в большинстве случаев работают по балочной схеме при нагрузке Р, равномерно распределенной на горизонтальную проекцию панели (рис. 1), вследствие того, что ее собственный вес, как правило, во много раз меньше полезного давления Р [4].

Вопрос о наивыгоднейшей форме гофрировки, с точки зрения максимально перекрываемой листом площади, вплоть до середины прошлого века не рассматривался. В 1960 г. Госстройиздат (г. Москва) выпустил книгу А.Р. Ржаницына [4], ценность которой заключается в том, что результаты её могут быть использованы при оптимизации настилов, перекрытий и покрытий, имеющих трапециoidalную, треугольную, прямоугольную и плавно-волнистую форму поперечного сечения. Методика решения экстремальных задач, описанная в работе [4], обобщена и модифицирована автором учебного пособия [5] для пяти расчетных моделей, часто встречающихся при конструировании, в которых M_{max} - наибольший по абсолютной величине изгибающий момент в опасном поперечном сечении настила [6,7] (рис. 1),

$$M_{max} = 2 \cdot K \cdot C \cdot P \cdot \ell^2, \quad (1)$$

где K - коэффициент, зависящий от количества, мест расположения и разновидности опорных закреплений панели [5]; $2PC$ - постоянная по всей длине ℓ балки погонная нагрузка, приходящаяся на один гофр шириной $2C$.

В данной статье рассматривается оптимационная задача по минимизации объема одной складки с треугольным очертанием сечения (рис. 2).

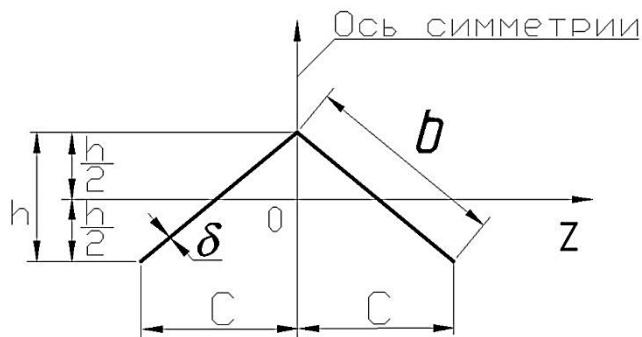


Рисунок 2 – Расчетная схема поперечного профиля гофрировки

Для математического моделирования напряженно-деформированного состояния данной конструкции вводим ряд допущений [1,4-7]:

1. Контур поперечного сечения гофрированного листа предполагается неизменяемым в процессе его нагружения, а деформации кручения – отсутствующими, что приводит к соблюдению гипотезы плоских сечений и линейному закону распределения продольных деформаций по высоте h настила.

2. Материал конструкции – однородный, сплошной, изотропный и подчиняется закону Гука.

3. Складки настила являются тонкостенными и в этом случае (рис. 2) [6]

$$\delta < h \cdot (15)^{-1}. \quad (2)$$

4. Как следствие первой и второй предпосылок, несущая способность балочного элемента – гофра, оценивается двумя условиями:

- равенством наибольшего σ_{max} и допускаемого $[\sigma]$ нормальных напряжений (классическая оптимизация [5,8])

$$\sigma_{max} = M_{max} \cdot h \cdot (2J_z)^{-1} = [\sigma]; \quad (3)$$

- предельной деформативностью или жесткостью

$$\zeta_{max} = f_{max} \cdot (\ell)^{-1} = 2 \cdot K_f \cdot C \cdot P \cdot \ell^3 (EJ_z)^{-1} = [\zeta], \quad (4)$$

где ζ_{max} , f_{max} - расчетные значения, соответственно, относительного и абсолютного проги-

бов складчатого листа (рис. 1); Е - модуль упругости материала; J_z - момент инерции сечения гофра относительно главной центральной оси z (рис. 2); $[\zeta]$ - допустимая величина прогиба складки, определяемая справочно-нормативными требованиями конкретной задачи [6,7]; K_f - числовой параметр, принимаемый в зависимости от балочной модели (см. рис. 4.24 [5]).

5. В рамках первого допущения складчато-гофрированный лист относится к классу жестких балок-пластин средней толщины h , для которых, в соответствии с известными гипотезами Кирхгофа, должны соблюдаться граничные неравенства следующего вида [9]:

$$1 \cdot (80)^{-1} \leq h \cdot \ell^{-1} \leq 1 \cdot 5^{-1}; \quad f_{max} \cdot h^{-1} \leq 0,25. \quad (5)$$

6. На основании второй предпосылки используется приближенная формула

$$J_z = \delta \cdot h^2 \cdot b \cdot 6^{-1} \quad (6)$$

для геометрической характеристики J_z [4,5].

В данной экстремальной задаче необходимо определить такие стационарные значения

$$\left. \begin{array}{l} X_{01} = b_0 > 0, \quad X_{02} = \cos\varphi_0 (0 < \varphi_0 \leq 90^\circ), \\ X_{03} = h_0 > 0, \quad X_{04} = C_0 > 0, \quad X_{05} = \ell_0 > 0 \end{array} \right\} \quad (7)$$

переменных X_1, \dots, X_5 (рис. 1 и 2), которые обеспечивают теоретический минимум

$$V_{min} = V(X_{01}, \dots, X_{05}) \quad (8)$$

целевой функциональной зависимости объема V одной складки

$$V = V(X_1, \dots, X_5) = 2 \cdot \delta \cdot b \cdot \ell = 2 \cdot \delta \cdot X_1(X_2, X_3, X_4) \cdot X_5(X_2, X_3, X_4) \quad (9)$$

при одновременной реализации нормативных требований (3), (4) по прочности и жесткости. В качестве заданных конструктивно-эксплуатационных параметров следует считать $P, \delta, E, [\sigma], [\zeta], K, K_f$.

Формулируем в развернутом виде уравнения связи, включающие:

- геометрические соотношения (рис. 2)

$$\left. \begin{array}{l} h = b \sin \varphi = b \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}, \Rightarrow X_3 = X_1 \sqrt{1 - X_2^2}, \\ C = b \cos \varphi, \Rightarrow X_4 = X_1 \cdot X_2; \end{array} \right\} \quad (10)$$

- условия несущей способности (3), (4), представляемые (с учетом зависимости (6) и буквенных обозначений переменных X_1, \dots, X_5) двумя равенствами

$$\frac{6K \cdot P \cdot X_2 \cdot X_5^2}{\delta \cdot X_1 \sqrt{1-X_2^2}} = [\sigma], \quad \frac{12 \cdot K_f \cdot P \cdot X_2 \cdot X_5^3}{\delta \cdot E \cdot X_1^2 (1-X_2^2)} = [\zeta]; \quad (11)$$

откуда определяем X_1 и X_5 , принимая во внимание соотношения (10):

$$X_1 = \frac{2 \cdot K_f^2 \cdot \delta \cdot [\sigma]^3}{3 \cdot E^2 \cdot K^3 \cdot P \cdot [\zeta]^2 \cdot X_2 \cdot \sqrt{1-X_2^2}}, \quad X_5 = \frac{K_f \cdot \delta \cdot [\sigma]^2}{3 \cdot E \cdot K^2 \cdot P \cdot [\zeta] \cdot X_2}. \quad (12)$$

Подставляем найденные параметры X_1, X_5 в формулу (9) и получаем целевой критерий объема материала V , зависящий только от одной переменной:

$$V = V(X_2) = K_v \left(X_2^2 \sqrt{1 - X_2^2} \right)^{-1}, \quad (13)$$

где $K_v = \text{const}$ – постоянная проектная характеристика конструкции настила

$$K_v = 4K_f^3 [\sigma]^5 \cdot \delta^3 \cdot (9E^3 \cdot K^5 \cdot P^2 \cdot [\zeta]^3)^{-1}, \quad (14)$$

имеющая размерность, тождественную V .

Для вычисления X_{02} , адекватного V_{min} , раскрываем необходимое условие экстремума [2,3,5,8]

$$\left[\frac{dV}{dX^2} \right]_{X_2=X_{02}} = K_v \left[\frac{-2(1-X_{02}^2)+X_{02}^2}{X_{02}^3(1-X_{02}^2)\sqrt{1-X_{02}^2}} \right] = 0, \quad (15)$$

откуда следует, при $0 < X_{02} < 1$,

$$X_{02} = \sqrt{\frac{2}{3}} \approx 0,8165; \quad \varphi_0 = \arccos X_{02} = 35,26^0. \quad (16)$$

Достаточный признак [3,5], подтверждающий, что

$$V(X_{02}) = V_{\min} = \frac{K_v}{X_{02}\sqrt{1-X_{02}^2}} = \frac{K_v}{(0,8165)^2\sqrt{1-(0,8165)^2}} = 2,598K_v, \quad (17)$$

заменим графиком безразмерной функции

$$V(\varphi) \cdot (K_v \cdot 10)^{-1} = (10\cos^2\varphi \cdot \sin\varphi)^{-1}, \quad 0 \leq \varphi \leq 90^0, \quad (18)$$

в соответствии с (13) при $X_2 = \cos\varphi$, построенным по численным данным таблицы, учитывая результат (16), и приведенным на рис. 3.

Оптимальные размеры складки b_0, h_0, C_0, ℓ_0 (рис. 1 и 2) находим, руководствуясь соотношениями (7), (10), (12) и (16):

$$b_0 = X_{01} = 2\Pi_1 \left(3X_{02}\sqrt{1-X_{02}^2} \right)^{-1} = 1,4142\Pi_1; \quad (19)$$

$$h_0 = X_{03} = X_{01}\sqrt{1-X_{02}^2} = 0,8165\Pi_1; \quad (20)$$

$$C_0 = X_{04} = X_{01} \cdot X_{02} = 1,1547\Pi_1; \quad (21)$$

$$\ell_0 = X_{05} = \Pi_2(3X_{02})^{-1} = 0,4082\Pi_2, \quad (22)$$

где Π_1 и Π_2 - константы, связанные с исходными проектными параметрами конструкции:

$$\Pi_1 = \frac{K_f^2 \cdot \delta[\sigma]^3}{E^2 \cdot K^3 \cdot P \cdot [\zeta]^2}, \quad \Pi_2 = \frac{K_f \delta[\sigma]^2}{E \cdot K^2 \cdot P \cdot [\zeta]}. \quad (23)$$

Расчетные значения зависимости (18)

φ , град	0	15	30	45	60	75	90
$V \cdot (K_v \cdot 10)^{-1}$	∞	0,4142	0,2667	0,2828	0,4619	1,5452	∞

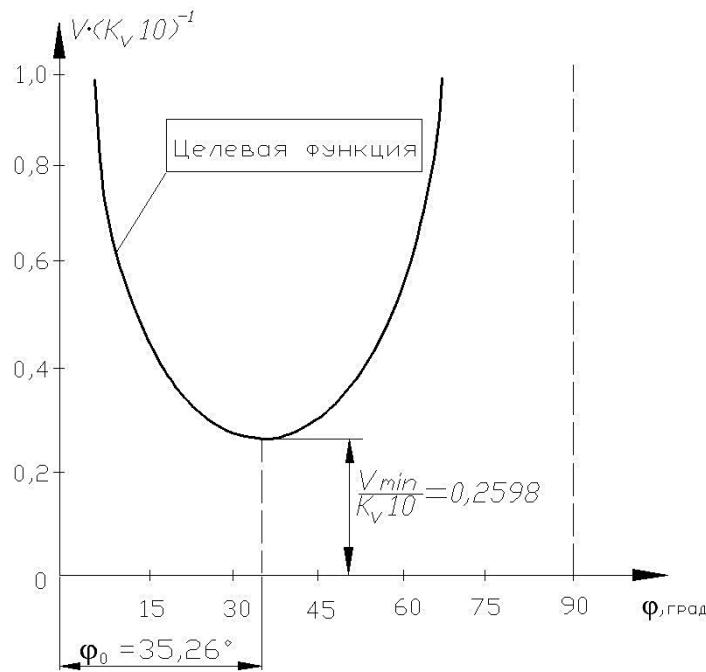


Рисунок 3 - Графическая интерпретация функционального критерия (13)

Для иллюстрации практического применения выведенных зависимостей принимаем следующие конкретные числовые данные [6,10]: коэффициенты $K=0,125$ и $K_f = 5 \cdot (384)^{-1} = 0,01302$ - шарнирное опирание листа (см. схему 1 на рисунке 4.24 и таблицу 4.3, [5]), имеющего толщину $\delta=0,1$ см; относительный предельно нормативный прогиб $[\zeta]=0,005$; расчетная нагрузка $P=200$ кг/м²; материал складки - алюминиевый сплав АМг2П с удельным весом $\gamma=0,00267$ кг/см³, модулем упругости $E=0,71 \cdot 10^6$ кг/см² и допускаемым напряжением $[\sigma]=1000$ кг/см². Подставляя эти значения в формулы (9), (19)-(23), вычисляем искомые рациональные геометрические характеристики моделируемой конструкции: $\Pi_1=34,3$ см; $\Pi_2=1173,5$ см; $b_0=X_{01}=48,6$ см; $h_0=X_{03}=28$ см; $C_0=X_{04}=39,7$ см; $\ell_0=X_{05}=479$ см;

$$V_{\min} = 2 \cdot \delta \cdot X_{01} \cdot X_{05} = 4655,88 \text{ см}^3.$$

При этом минимальный теоретический вес G_{\min} одной складки настила получается равным

$$G_{\min} = \gamma \cdot V_{\min} = 0,00267 \cdot 4655,88 \approx 12,4 \text{ кг}$$

и выполняются условия (2), (5), гарантирующие механико-математическую корректность формул (3), (4), (6), аппроксимирующих σ_{\max} , f_{\max} , J_z :

$$h_0(\ell_0)^{-1} = 28 \cdot (479)^{-1} \approx 0,0585 < 0,02 \text{ и } > 1 \cdot (80)^{-1} \approx 0,0125;$$

$$f_{\max}(h_0)^{-1} = [\zeta] \cdot \ell_0(h_0)^{-1} = 0,085 \ll 0,25;$$

$$\delta = 0,1 \text{ см} \ll h_0(15)^{-1} = 28 \cdot (15)^{-1} \approx 1,87 \text{ см.}$$

Схематический чертеж рассчитанной оптимальной складчатой системы дан на рис. 4 в изометрической проекции.

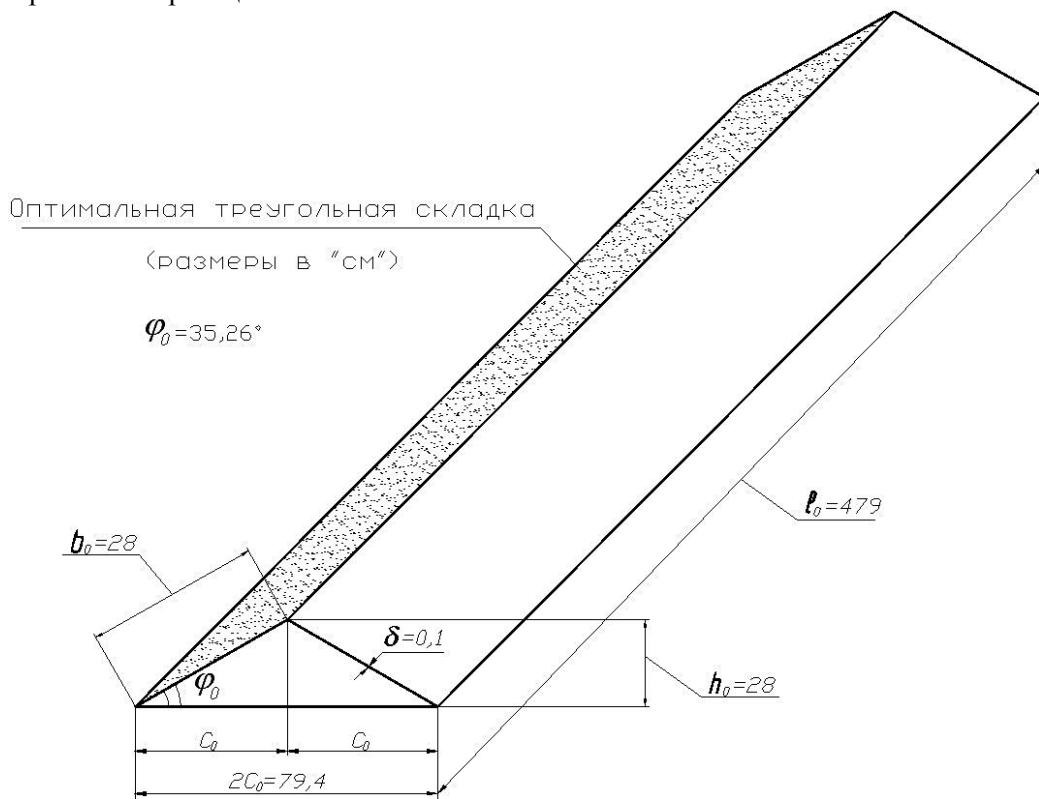


Рисунок 4 – Оптимизированный элемент складчатого листа

Анализ полученного (замкнутого) решения прикладной экстремальной задачи позволяет констатировать, что все математические выкладки доведены до конечных формул, которые можно непосредственно использовать при оптимальном проектировании подобных несущих конструкций с возможностью регулирования в процессе расчета их нормативной прочности и жесткости.

Список литературы

1. Филин Л.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. - М.: Наука, 1975. - Т. 1. - 832 с.
2. Лесин В.В. Основы методов оптимизации / В.В. Лесин, Ю.П. Лисовец. - М.: Изд-во МАИ, 1998. - 344 с.
3. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Муррей, М. Райт / Пер. с англ. В.Ю. Лебедева; Под ред. А.А. Петрова. - М.: Мир, 1985. - 509 с.
4. Ржаницын А.Р. Пологие оболочки и волнистые настилы: некоторые вопросы теории и расчета. - М.: Госстройиздат, 1960. - 128 с.
5. Абдеев Б.М. Классические оптимизационные задачи в сопротивлении материалов: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Ж.О. Кульсейитова. - Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ, 2005. - 206 с.
6. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, Л.П. Яковлев, В.В. Матвеев. - Киев: Наукова думка, 1975. - 704 с.
7. Справочник проектировщика: расчетно-теоретический / Под ред. А.А. Уманского. - М.: Госстройиздат, 1960. - 1046 с.
8. Абовский Н.П. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости (регулирование, синтез, оптимизация) / Н.П. Абовский, Л.В. Енджеевский и др.; Под ред. Н.П. Абовского. - М.: Стройиздат, 1978. - 178 с.
9. Варданян Г.С. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности / Г.С. Варданян, В.И. Андреев, Н.М. Атаров и др.; Под ред. Г.С. Варданяна. - М.: Изд-во АСВ, 1995. - 568 с.
10. Тимашев С.А. Устойчивость подкрепленных оболочек. - М.: Стройиздат, 1974. - 256 с.

Получено 5.02.2015

УДК 699.8

М.К. Пшембаев

Комитет автомобильных дорог Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан, г. Астана

ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАЩИТА БЕТОННЫХ ДОРОГ ОТ СОЛЕВОЙ КОРРОЗИИ И ДЕЙСТВИЯ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Бетонные дороги, подвергающиеся многолетним воздействиям атмосферных вод, циклического замораживания-оттаивания, в том числе в растворах хлористых солей, динамического транспортного нагружения и истирающего воздействия шипованной резины существенно снижают свои технические характеристики. И в большинстве случаев уже через 5-10 лет эксплуатации имеют существенные поверхностные дефекты. В дальнейшем, если не проводятся ремонтно-восстановительные мероприятия, в поверхностном слое бетонных конструкций развиваются необратимые деструктивные процессы, приводящие к интенсивному разрушению.

Эта тенденция характерна как для отечественного, так и для зарубежного строительства бетонных сооружений. В частности, на четвертой международной конференции по долговечности строительных материалов и изделий приводились данные [1], что в США 300 миллиардов долларов расходуется ежегодно на ремонт, восстановление и заме-

ну поврежденных сооружений дорог, мостов, гидротехнических и очистных сооружений. В связи с этим профилактические мероприятия по защите бетона от разрушения становятся непременным фактором повышения эффективности содержания бетонных дорог.

Сущность защиты бетонных покрытий дорог состоит в соединении пропиточного материала с бетоном с образованием единого целого. При этом усиление сцепления двух разных по структуре и свойствам материалов возможно за счет увеличения площади поверхности контакта, диффузии компонентов защитного материала в объем бетона, образования химических соединений с компонентами бетона.

Диффузионный перенос компонентов защитного материала осуществляется либо путем выравнивания концентраций в разных участках порового пространства, либо за счет градиента внутренних напряжений [2]. Скорость переноса определяется многими факторами: пористостью бетона, вязкостью пропиточного материала, перепадом температур, силовыми полями и т.д. В свою очередь, из объема защищаемого бетона к поверхности направляется поток водного раствора, содержащего растворимые компоненты бетона. Такое взаимное движение обеспечивает возможность химического взаимодействия и срастания бетона с пропиточным материалом.

Европейские нормы регламентируют целый комплекс материалов и методов для обеспечения эффективной защиты и гидроизоляции строительных конструкций в различных условиях агрессивного воздействия внешней среды [3].

Методы защиты включают следующие виды нанесения защитных материалов:

1. *Гидрофобная пропитка* включает обработку бетона с целью придания его поверхности водоотталкивающих свойств. В результате такой обработки создается внутренний водоотталкивающий защитный слой на поверхности пор и капилляров без их заполнения. При этом внешний вид поверхности бетона изменяется незначительно или остается без изменения (рис. 1). В качестве гидрофобных пропиточных составов могут применяться силаны или силоксаны, которые имеют высокую стоимость и малоэффективны в условиях солевой коррозии бетона.



Рисунок 1 - Схематическое изображение гидрофобного слоя на поверхности бетона

2. *Пропитка* на органо-полимерной и цементо-водной основе заключается в обработке бетона с целью упрочнения поверхностного слоя бетона и уменьшения пористости путем полного или частичного заполнения пор и капилляров (рис. 2). Обработка такого типа поверхности бетона приводит к образованию сплошной тонкой пленки на его поверхности толщиной от 10 до 100 микрон. В качестве вяжущих для пропитки могут использоваться, в частности, органические полимеры.



Рисунок 2 - Схематическое изображение пропитки частично кольматирующими составами

Пропитка на органо-полимерной основе при нанесении на бетон проникает в поры и капилляры поверхностных слоев бетона с последующей полимеризацией без непосредственно химического взаимодействия с растворной частью бетона. Поэтому возможно отслоение пленки полимера и дальнейшее развитие коррозии.

Пропиточно-кольматирующие составы на цементно-водной основе представляют собой сухие смеси, затворяемые водой. Полученный раствор под воздействием гравитационных сил и сил капиллярного всасывания проникает вглубь бетона. В результате физико-химического взаимодействия с цементным камнем образуются кристаллические нерастворимые или малорастворимые новообразования, кольматирующие поры и капилляры.

В этом плане перспективным видится введение гексафторсиликата магния $MgSiF_6 \cdot 6H_2O$ в пропиточно-кольматирующий состав, который способен заполнять поры в бетоне кристаллами нерастворимых солей (MgF_2 и CaF_2) и, как следствие, формирование более плотной структуры в верхнем слое дорожного покрытия, подверженного солевой коррозии и периодическим циклам замораживания-оттаивания.

На первом этапе исследования изучали свойства бетона, в который вводили $MgSiF_6 \cdot 6H_2O$ в количестве от 0,1 до 1 % от массы цемента. Химический реагент подавали в бетонную смесь с водой затворения. Для сравнения исследование проводилось на образцах бетона без добавок (контрольные образцы). Результаты экспериментальных данных представлены в табл. 1.

Таблица 1
Влияние гексафторсиликата магния на прочность бетонных образцов

№ состава	Количество добавки $MgSiF_6 \cdot 6H_2O$, % от массы цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте, сут		
		3	14	28
1	Контрольный образец	17,4	26,4	37,6
2	0,1	13,1	20,7	31,7
3	0,5	2,2	15,5	31,2
4	1,0	2,3	14,9	20,6

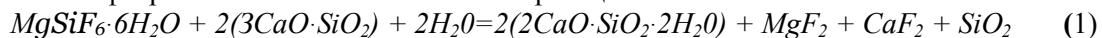
Из приведенных данных видно, что во все сроки твердения у образцов бетона с добавкой гексафторсиликата магния наблюдается спад прочности по сравнению с контрольными образцами. Это свидетельствует о том, что механизм действия химдобавки таков, что процесс гидратации цементного клинкера блокируется. Поэтому для изучения процессов динамики твердения цементного вяжущего в бетоне с участием гексафторсиликата магния были проведены исследования на индивидуальных минералах портландцементного клинкера, т.е. трехкальциевом силикате C_3S , двухкальциевом силикате C_2S ,

трехкальциевом алюминате кальция C_3A и четырехкальциевом алюмоферрите кальция C_4AF (табл. 2). Гексафторсиликат магния вводился в количестве 0,1 % от массы цемента, поскольку, как видно из табл. 1, при таком содержании добавки достигается наименьшее снижение предела прочности при сжатии бетонных образцов.

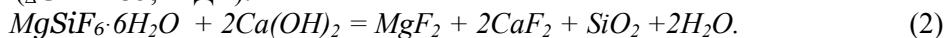
Таблица 2
Влияние гексафторсиликата магния на прочность индивидуальных клинкерных фаз

Содержание добавки, % от массы цемента	Прочность на сжатие образцов из индивидуальных клинкерных фаз, МПа, в возрасте, суток							
	4 суток				28 суток			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
0 (контрольный образец)	43,6	1,2	15,3	30,2	59,1	3,4	23,7	42,5
0,1 % $MgSiF_6 \cdot 6H_2O$	0,3	-	4,8	22,7	2,5	0,6	12,4	32,1

Полученные результаты дают основание предположить, что гексафторсиликат магния взаимодействует не только с продуктом гидролиза альта и белита – гидроксидом кальция, но и непосредственно с клинкерными минералами. Проведенные термодинамические расчеты вероятности протекания указанных реакций показали, что взаимодействие гексафторсиликата магния с алитом по реакции



более вероятно ($\Delta G = -371,5$ кДж) по сравнению с реакцией взаимодействия его с гидроксидом кальция ($\Delta G = -235,4$ кДж):



Исходя из этого, следует, что деструктивная роль гексафторсиликата магния на ранней стадии твердения бетона состоит в «переводе» части альта в белит, который, как известно, характеризуется низкой гидравлической активностью в ранние сроки твердения. Для предотвращения этого негативного явления необходимо вводить ускоритель твердения, который будет способствовать более быстрому гидролизу альта с образованием $Ca(OH)_2$.

Для достижения ускорения схватывания и твердения цементов предложено множество химических добавок, среди которых наибольшее распространение получили хлориды кальция, натрия и железа, нитриты и нитраты натрия, сульфаты натрия и алюминия, поташ и многие другие [4]. Однако многие из них имеют ограничения в применении. Так, например, хлориды вызывают коррозию арматуры железобетонных конструкций, сульфаты и нитраты мигрируют к поверхности бетона, образуя на ней высолы. Таким образом, наибольший интерес представит карбонат калия в качестве ускорителя твердения.

Влияние количества карбоната калия на твердение бетона представлено в табл. 3 (количество гексафторсиликата магния в бетонных смесях было постоянным и составляло 0,1 % от массы цемента).

Видно, что при введении в бетонную смесь 0,1 % гексафторсиликата магния и карбоната калия прочность на сжатие образцов значительно увеличивается по сравнению с контрольными. Полученные результаты позволяют предположить, что в первую очередь K_2CO_3 интенсифицирует процессы гидратации и гидролиза цементных минералов, приводящие к быстрому схватыванию и твердению бетона и положительно сказывающиеся на прочности образцов. Образующийся в результате этого $Ca(OH)_2$ взаимодействует с гексафторсиликатом магния с образованием водонерастворимых фторидов магния, кальция и оксида кремния, которые способствуют формированию плотной структуры камня. Вышеописанная гипотеза относительно механизма объемного флюатирования хорошо

согласуется с экспериментальными данными, представленными в табл. 4, и подтверждается рассчитанной вероятностью протекания указанных реакций.

Таблица 3
Зависимость прочности бетонных образцов от количества карбоната калия

№ состава	Количество добавки K_2CO_3 , % от массы цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте, сут		
		3	14	28
1	Контрольный образец	17,4	26,4	37,6
2	0,1	25,9	33,2	59,0
3	0,3	26,3	36,4	68,2
4	0,5	29,7	38,3	73,1
5	1,0	26,6	34,2	67,6

Таблица 4
Влияние добавок на прочность индивидуальных клинкерных фаз

Содержание добавки, % от массы цемента	Прочность на сжатие образцов из индивидуальных клинкерных фаз, МПа, в возрасте, суток							
	14 суток				28 суток			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
0 (контрольный образец)	43,6	1,2	15,3	30,2	59,1	3,4	23,7	42,5
0,5 % K_2CO_3	47,1	1,3	19,7	31,8	61,5	3,6	32,9	44,0
0,1 % $MgSiF_6 \cdot 6H_2O + 0,5 \% K_2CO_3$	51,4	2,6	19,4	32,0	73,3	4,1	32,3	44,1

Как видно из представленных данных, при добавлении к портландцементным минералам карбоната калия прочность образцов увеличивается по сравнению с контрольными, это наиболее заметно на силикатах и алуминате кальция, а при введении в смесь гексафторсиликата магния разница в значении прочности становится еще более существенной. Очевидно, повышение прочности образцов является следствием увеличения скорости реакций гидратации и гидролиза клинкерных фаз.

Таким образом, оптимальный состав комплексной химической добавки для укрепления бетона следующий (% от массы цемента): гексафторсиликат магния - 0,1; карбонат калия - 0,5. Для проверки этих данных комплексная добавка вводилась в бетонную смесь с водой затворения, после чего в возрасте 14 и 28 суток образцы бетона испытывались на прочность при сжатии, водопоглощение и морозостойкость. Результаты эксперимента представлены в табл. 5.

Таблица 5
Свойства бетона при введении химических добавок

Содержание добавки, % от массы цемента	Прочность на сжатие образцов из индивидуальных клинкерных фаз, МПа, в возрасте, суток		Водопоглощение, %	Морозостойкость, F
	14	28		
контрольный образец	26,4	37,6	6,7	300
0,5 % K_2CO_3	20,7	31,7	6,6	400
0,1 % $MgSiF_6 \cdot 6H_2O$	31,6	49,8	6,9	300
0,1 % $MgSiF_6 \cdot 6H_2O + 0,5 \% K_2CO_3$	38,3	73,1	5,8	500

Из табл. 5 видно, что при использовании комплексной добавки достигается увеличение прочности на сжатие в 1,8-2,0 раза и морозостойкости на 2 марки. Существенный рост указанных свойств образцов бетона достигается за счет заполнения пор кристаллами нерасстворимых солей (MgF_2 и CaF_2) и, как следствие, формирования более плотной структуры [5]. Подтверждением этого является снижение водопоглощения на 10-13 %.

Таким образом, проведенные испытания комплексной добавки в качестве реагента для состава, укрепляющего верхний слой дорожного бетона, показали ее высокую эффективность в отношении повышения морозостойкости, коррозионной стойкости и прочности.

Разработанный пропиточный состав выгодно отличается от других известных на органической основе, т.к. он в процессе службы не подвергается деструкции под действием низких температур и солнечной радиации. Этот состав может составить достойную конкуренцию пропиточному составу «Burke-O-Lith» производства США, который на протяжении уже нескольких десятилетий успешно применяется по всему миру для обработки бетонных взлетно-посадочных полос аэродромов, мостовых железобетонных конструкций и бетонных покрытий автомобильных дорог [6].

Список литературы

1. International Symposium of Building Materials and Combonents. - 1987. - Syngapoar. - v. 1, 11. - 1988. - p. 412-132.
2. Бердов Г.И. Термодинамический анализ химических реакций образования минералов в системе MgO - Al_2O_3 - SiO_2 // Труды Новосибирского гос. архит.-строит. ун-та. - 2001. - Т. 4. - № 4 (15). - С. 46-50.
3. Бусел А.В. Коррозия и несиловые факторы разрушения дорожно-строительных материалов. Способы защиты / А.В. Бусел, Н.П. Матвейко. - Минск: БНТУ, 2009. - 215 с.
4. Ушеров-Маршак А.В. Кинетическая селективность влияния химических добавок на процессы твердения цементов // Неорганические материалы. - 2000. - Т. 35. - № 12. - С. 1531-1534.
5. Леонович С.Н. Прочность конструкционных бетонов при циклическом замораживании-оттаивании с позиций механики разрушения. - Брест: БрГТУ, 2006. - 380 с.
6. Ушаков В.В. Ремонт цементобетонных покрытий автомобильных дорог // Обзорная информация. Автомобильные дороги. - 2002. - № 6. - с. 21.

Получено 20.02.2015

по страницам



САМЫЙ МАЛЕНЬКИЙ ЭКРАН

Производители электроники соревнуются между собой в размерах выпускаемых телевизоров и компьютерных мониторов. Уже существует планшетник с экраном диагональю 80 дюймов (более двух метров). Но в Институте органики, материалов и электронных устройств в Дрездене (Германия) постарались создать самый маленький экранчик на органических светодиодах диодах. Новая технология изготовления микроскопических цветных светодиодов позволила избавиться от цветных фильтров, которые приходилось встраивать в подобные экраны, отчего картинка получалась темноватой. Микроэкраны с ярким цветным изображением нужны для видеосмотрителей фото- и видеокамер, а также для всё более популярных в последнее время очков виртуальной или дополненной реальности.

«Наука и жизнь» № 1, 2015