



The Effectiveness of Polymer-Paraffin Emulsions to Reduce Moisture Loss from Hardening Concrete

Barabanshchikov, Yu.G.^{1*}; Popyvanova, Z.D.²; Usanova, K.Yu.¹; Akimov S.V.¹

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

² Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Uzbekistan

* ugb@mail.ru

Keywords:

Concrete; Mortar; Emulsion Curing Agent; Moisture loss; Wind speed; Testing; Shrinkage

Abstract:

The subject of research is hardening concrete with polymer-paraffin emulsions applied to its surface. The effectiveness of polymer-paraffin emulsions deposited on the surface of hardening concrete to reduce moisture loss and reduce shrinkage experimentally investigated. Four types of damp proof membranes in various temperatures and humidity conditions, as well as in the presence of wind were tested. Moisture losses from the concrete through a protective film of various thicknesses were determined. Tests have shown that the most effective coating was the cationic emulsion EMCORIL B VM. It retained up to 75-90% moisture from the amount lost by unprotected concrete for 72 hours at a temperature of 40 °C and relative humidity of 30% with a wind speed of 3 m/s. Cationic emulsions are more effective than anionic ones, and polymer-paraffin formulations are more effective than paraffin ones. The rate of evaporation through coatings, regardless of their type and thickness, becomes the same as the rate of evaporation from the open surface of the concrete after the first day of concrete hardening. Therefore, coatings slow down the evaporation of moisture only in the initial period. After that, the evaporation rate is limited by diffusion in the concrete. Studies showed that wind increased moisture loss, but contributed to the rapid drying of the film and a decrease in its vapor permeability in the first hours after applying the emulsion, while a solid film has not yet been formed. Therefore, an increase in wind speed leads to an overall reduction in moisture loss from concrete.

1 Introduction

После укладки и уплотнения бетонной смеси, а при устройстве дорожных и аэродромных покрытий после отделки поверхности бетона, организуют уход за твердеющим бетоном [1], [2], представляющий комплекс мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия твердения уложенной смеси. Мероприятия включают предупреждение испарения из бетона влаги, защиту от ветра, солнца, осадков, предохранение его от механических повреждений в раннем возрасте, а также соблюдение заданного теплового режима и безопасных сроков снятия теплозащиты и опалубки [3], [4]. Сроки установки и снятия теплоизоляционного покрытия зависят от массивности конструкции и температуры окружающей среды [5]

Защита твердеющего бетона от влагопотерь является одним из главных факторов, оказывающих большое влияние на его физико-механические свойства [6], [7]. Главная задача состоит в том, чтобы обеспечить и поддерживать бетон во влажном состоянии, близким к насыщению, пока жесткость бетона не позволит его структуре существенно противостоять действию капиллярного давления и усадочным деформациям [8], [9], [10].

Испарение воды из бетона приводит к образованию микро- и макропор, структура становится дефектной, заметно ухудшается его долговечность, появляются усадочные трещины [11]. На высыхание бетона большое влияние оказывают внешние условия – температура, влажность воздуха, наличие ветра [12]. В работе [13] получено, что при увеличении скорости ветра потеря эффективности имеет тенденцию увеличиваться почти пропорционально.

При сравнении прочности образцов при различных способах отверждения бетона процесс влажного отверждения оказался более эффективным, чем отверждение продуктами, приводящими к образованию мембран на бетонной поверхности; кроме того, прочность на изгиб высокопрочного бетона увеличивалась при испытании насыщенных образцов, в то время как прочность на изгиб у обычного бетона снижалась [14]. Авторы объяснили данное обстоятельство влиянием пористости.

Долговечность бетона во многом зависит от его проницаемости, в особенности от способности поверхностного слоя противостоять проникновению различных веществ из окружающей среды. Было показано [15], что водо- и воздухопроницаемость гораздо более чувствительны к методу отверждения, чем прочность.

Основной мерой защиты бетона от высыхания является укрытие бетона паронепроницаемым материалом чаще всего полиэтиленовой пленкой. Иногда под пленкой укладывают насыщенный водой влагоудерживающий геотекстиль или мешковину [16]. Применяют также подачу дополнительной воды на бетонную поверхность (например, метод пруда [17]). Этот метод является наиболее эффективным, но подходит только для горизонтальных поверхностей.

Все традиционные способы недостаточно технологичны, дороги и вызывают много практических проблем [18], особенно, при бетонировании аэродромных и дорожных покрытий по причине их большой площади [19]. Достижения в строительной и химической промышленности проложили путь для разработки новых методов отверждения бетона [20], одним из которых является использование пленкообразующих жидкостей (эмульсий), которые наносятся распылением и после отвердевания образуют влагонепроницаемую пленку [21]. При использовании мембранных отверждающихся составов эффективность может достигать 80-90 % по сравнению с обычным отверждением водой [20].

Пленкообразующими материалами могут служить лаки, полимерные и парафиновые дисперсии, силиконовые жидкости, жидкое стекло и другие материалы.

В работе [22] использовались четыре типа отверждающихся мембран: органорастворимая смола (Solvent borne resin), восковая эмульсия (Wax emulsion), растворимый акрил (Solvent-borne acrylic), акриловая эмульсия (Acrylic emulsion). Оценивались кислородопроницаемость, общая пористость, степень гидратации, а также скорость потери влаги в растворах и бетонных образцах при 35 °С и относительной влажности 45 %. Наиболее чувствительным методом оценки оказалось испытание на кислородопроницаемость, а наиболее эффективной мембраной была восковая эмульсия. Эффективность мембранообразующих жидкостей зависит от качества материала, времени нанесения, а также количества и однородности нанесенного пленочного покрытия.

Восковые составы отличаются высокой стойкостью против водной эрозии [23], а также высокой эффективностью [24], однако имеют и ряд недостатков. Во-первых, при организации технологических («холодных») швов такие трудноудаляемые пленки будут препятствовать сцеплению между старым и новым бетоном. Во-вторых, применение этих средств для дорожных и аэродромных покрытий значительно снижает коэффициент трения колес транспорта о дорожное полотно [25].

На основе парафинов отечественной промышленностью выпускаются следующие пленкообразующие влагоудерживающие составы по уходу за бетоном: ВПС-Д; «Пэвейл»; «Тент»; ВПМ-ЭП, и другие. Средства по уходу за бетоном на основе парафинов и полимеров представлены также в линейке продуктов компании МС-Баухеми. Такие продукты являются водной дисперсией полимеров и восков.

Целью работы является экспериментальная оценка эффективности 4 типов пленкообразующих эмульсий с точки зрения их защитных влагоизолирующих свойств.

Испытывались образцы мелкозернистого бетона с защитным покрытием следующими пленкообразующими влагоудерживающими составами (ПВС) (табл. 1).

Таблица 1 - Пленкообразующие влагоудерживающие вещества

№ п/п	Название средства	Характеристика	Содержание твердого остатка, %
1	Эмкорил БФМК	катионактивная полимерно-парафиновая эмульсия	18
2	Эмкорил БФМА	анионактивная полимерно-парафиновая эмульсия	22
3	Эмульсия К	парафиновая катионактивная эмульсия	18

4	Эмульсия EB 600	парафиновая анионоактивная эмульсия	50
---	-----------------	-------------------------------------	----

Кроме того, испытывались образцы, покрытые полиэтиленовой пленкой, толщиной 200 мкм, и контрольные образцы без покрытия.

2 Methods

Оценивали способность пленки, образующейся после нанесения покрытия на поверхность бетона, твердеющего в климатической камере при нормальной циркуляции воздуха и в случае ветра, удерживать воду затворения в бетоне от испарения. В качестве критериев оценки эффективности средства по уходу за бетоном и раствором принимали значения удельной влагопроницаемости ($\text{кг}/\text{м}^2$) для заданного количества средства через 72 ч и значение защитного коэффициента (параметра эффективности), который показывает, какая часть воды не испарилась из свежеложенного бетона после обработки его поверхности ПВС по отношению к водопотерям контрольного образца без ухода в стандартных условиях.

Исследования проводились в климатической камере при температуре $40\text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 30 %, а также при более умеренных условиях $20\text{ }^\circ\text{C}$; 60 %, при воздействии принудительной циркуляции воздуха (имитации ветра).

Образцы изготавливались из цементно-песчаной смеси в соотношении 1:3 с В/Ц=0,39 в водонепроницаемые жестких пластиковых формах с размерами 100x200 мм, глубиной 60 мм. Применялся портландцемент СЕМ I 42,5 N (производства Осколцемент) и песок для строительных работ с модулем крупности $M_k=2$. При этом расплыв стандартного конуса после 30 встряхиваний лежал в пределах 115-118 мм.

На одно испытание готовилось 3 идентичных образца для каждого расхода покрытия. Образцы уплотнялись вибрацией с пригрузом (во избежание разрыхления верхнего слоя) с последующим выравниванием. Уплотненная и выровненная смесь не должна доходить до краев формы на 5-10 мм. Образцы выдерживались не менее 72 ч (обычно 5-6 суток) в заданных климатических условиях.

Перед нанесением покрытия производилось подсушивание поверхности образцов, с целью удаления лишней влаги с поверхности образца путем 2 часовой выдержки на воздухе при температуре $20\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ и влажности $65\pm 5\%$. После чего щетинной кисточкой с поверхности образцов удалялась блестящая пленка. Далее по периметру формы в смеси изготавливалось V-образное углубление шириной 2 мм и глубиной 3 мм, которое затем заполнялось герметизирующим материалом (расплавленным парафином) для предотвращения испарения влаги из смеси по краям формы.

Образцы в формах взвешивали (M_1) и с помощью краскопульта равномерно наносили заданное количество покрытия M_0 (200, 300 или $400\text{ г}/\text{м}^2$). После этого образцы снова взвешивали (M_2).

Готовые образцы помещались в климатическую камеру с заданным режимом таким образом, чтобы расстояние между самими образцами и образцами и стенками камеры было не менее 50 мм.

Имитация ветра производилась по схеме, представленной на рис. 1.

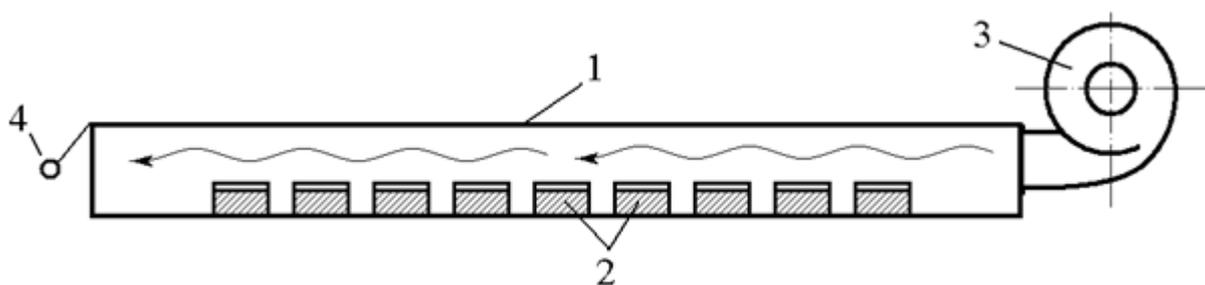


Рис.1. Устройство для иммитации ветра: 1 – аэродинамическая труба; 2 – формы с образцами; 3 – вентилятор; 4 – измеритель скорости воздушного потока

Fig. 1. Device for simulating wind: 1 - wind tunnel; 2 - forms with samples; 3 - fan; 4 - air flow meter

Скорость ветра измерялась по углу отклонения пластмассового шарика, подвешенного на тонкой нити. Скорость вращения ротора вентилятора регулировалась с помощью частотно-задающего устройства.

Через 3 часа образцы взвешивались для выявления непредвиденных больших влагопотерь из-за неудовлетворительной герметизации образца или формы. В заданные сроки все образцы извлекались из камеры и взвешивались (M_3).

Влагопотери из покрытия, рассчитывали по формуле $\Delta P = M_0 - (C_{cp} * M_0)$; где C_{cp} – масса сухого остатка эмульсии. Влагопотери из бетонного образца (без влагопотерь покрытия) рассчитывали по формуле $\Delta P_1 = M_2 - M_3 - \Delta P$.

Удельные влагопотери из бетона ($\text{кг}/\text{м}^2$) рассчитывали по формуле $\Delta W = \Delta P_1 / S$, где S – площадь поверхности защищенной ПВС.

Удельные влагопотери через пленку ПВС для заданного расхода средства определяли как среднее арифметическое из двух наименьших результатов в серии из трех образцов.

Эффективность защиты бетона J от испарения влаги (коэффициент защиты) в % сохраненной влаги от количества, потерянного бетоном без защитного покрытия, определялась по формуле:

$$J = \left(1 - \frac{\Delta W_1}{\Delta W_2}\right) \cdot 100,$$

где ΔW_1 – потеря влаги через защитное покрытие; ΔW_2 – потеря влаги через поверхность без защитного покрытия в тех же условиях.

3 Results and discussion

Для сравнения испытанных средств по их эффективности, сопоставим потерю влаги образцами и эффективность защиты за контрольный срок 72 часа. Значения представлены в табл. 1.

Из табл. 2 видно, что за контрольный срок 72 ч (как при $t=40^\circ\text{C}$, $\varphi=30\%$, так и при $t=20^\circ\text{C}$, $\varphi=60\%$) средство Эмкорил БФМК обладает наибольшей эффективностью защиты и обеспечивает наименьшую потерю влаги бетоном по сравнению с остальными ПВС, но уступает покрытию из полиэтиленовой пленки, составляя от 60 до 80 % от эффективности последней. Наименьшей эффективностью обладает средство Эмульсия ЕВ 600.

Таблица 2 – Потеря влаги образцами (ΔW) и эффективность защиты от испарения (J) за контрольный срок 72 часа

Table 2 - Moisture loss by samples (ΔW) and evaporation protection efficiency (J) for a control period of 72 hours

Наименование средства	Условия среды	Скорость ветра v , м/с	Расход средства, г/м ²								П/э пленка	
			0		200		300		400		ΔW , кг/м ²	J , %
			ΔW , кг/м ²	J , %	ΔW , кг/м ²	J , %	ΔW , кг/м ²	J , %	ΔW , кг/м ²	J , %		
Эмкорил БФМК	$t = 40^\circ\text{C}$, $\varphi = 30\%$	0	3,14	1,62	48,3	0,826	73,7	0,826	73,7	0,034	98,9	
		3	3,01	0,751	75,0	0,527	82,4	0,292	90,3			
		7	2,95	0,687	76,7	0,360	87,8	0,081	97,2			
	$t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$	0	2,83	1,08	61,9	0,595	78,9	0,151	94,6	0,025	99,1	
		3	2,54	0,663	73,9	0,374	85,3	0,214	91,6	0,029	98,9	
		7	2,67	0,396	85,1	0,243	90,9	0,142	94,7			
Эмкорил БФМА	$t = 40^\circ\text{C}$, $\varphi = 30\%$	0	3,09	1,98	35,8	1,316	57,4	1,01	67,4	0,029	99,1	
		3	3,01	1,40	53,4	1,050	65,0	0,938	68,8			
		7	2,95	1,26	57,1	0,891	69,7	0,734	75,1			
	$t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$	3	2,54	0,545	78,6	0,545	78,6	0,575	77,4	0,029	98,9	
		7	2,67	0,951	64,3	0,634	76,2	0,530	80,1			
Эмульсия К	$t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$	0	2,83	1,32	53,2	1,02	63,7	0,724	74,4	0,025	99,1	

Эмульсия ЕВ 600	t = 20 °С, φ=60 %	0	2,83	1,46	48,2	1,31	53,6	1,19	57,8	0,025	99,1
--------------------	----------------------	---	------	------	------	------	------	------	------	-------	------

Основная потеря влаги происходит в течение первых суток твердения бетона. В последующее время процесс замедляется (рис. 2).

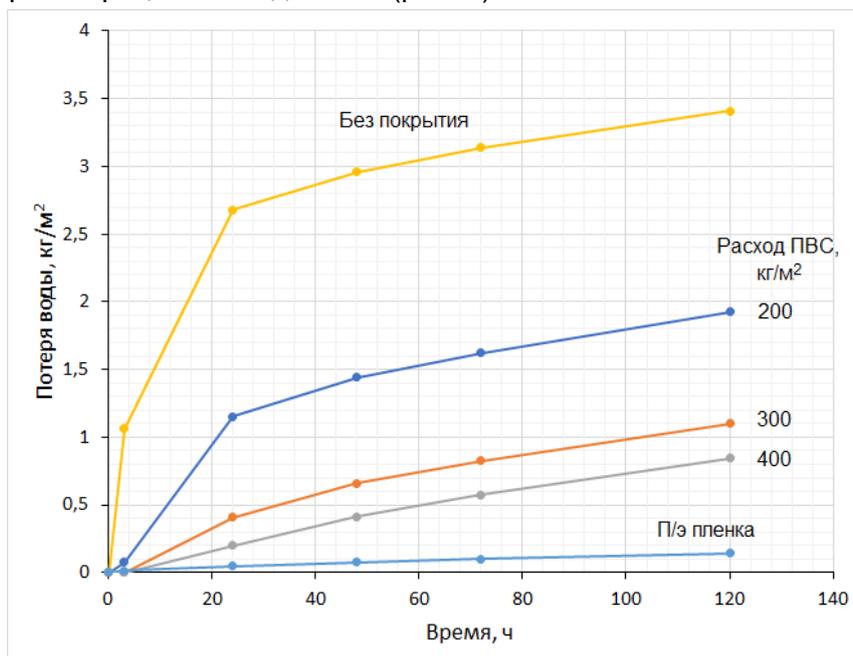


Рис. 2. Кинетика потери влаги через покрытие Эмкорил БФМК и п/э пленку при температуре 40 °С и относительной влажности воздуха 30 %
Fig. 2. The kinetics of moisture loss through the coating of Emcoril BFMK and plastic film at a temperature of 40 °С and a relative humidity of 30 %

По сравнению с бетоном без покрытия Эмкорил БФМК при минимальном расходе 200 г/м² дает сокращение потерь воды почти в 2 раза. Увеличение расхода защитного средства на единицу площади поверхности бетона с 200 до 300 г/м², а, следовательно, и толщины защитной пленки, значительно уменьшает влагопотери. Однако дальнейшее увеличение расхода средства до 400 г/м² оказалось малоэффективным. Для остальных ПВС имеем аналогичную картину в расположении и характере кривых.

При более мягких температурно-влажностных условиях (t=20 °С, φ=60 %) потери влаги за 72 ч снизились для бетона без покрытия в 1,13 раза, для бетона с покрытием Эмкорил БФМК – в среднем в 1,4 раза, для п/э пленки – в 1,26 раза (см. табл. 1). Малое снижение водопотерь через пленку ПВС по сравнению с остальными случаями объясняется тем, что при более низкой температуре и более высокой влажности воздуха, высыхание самого покрытия происходит медленнее и, следовательно, проницаемость пленки к данному моменту времени оказывается более высокой.

По наклону касательной к полученным кривым можно выделить два периода: 1) начальный период до 1 суток, характеризующийся высокой скоростью испарения влаги вначале с постепенным ее снижением к концу периода; 2) последующий период после 2 суток с практически постоянной скоростью испарения влаги.

Различные средства независимо от толщины отличаются по скорости испарения влаги от незащищенной поверхности только в начальном периоде (рис. 2). В дальнейшем скорость испарения через покрытия такая же, как и с незащищенной поверхности бетона. Следовательно, покрытия тормозят испарение влаги только в течении первых 1-2 суток, далее они не работают. Это можно объяснить тем, что скорость испарения в начальном периоде лимитируется защитной пленкой, а по мере уменьшения влагосодержания в бетоне лимитирующей стадией становится диффузия влаги в бетоне.

Наличие ветра (рис. 3) уменьшает потери воды и тем сильнее, чем выше скорость ветра. Это, как было указано выше, можно объяснить быстрым высыханием на ветру защитной пленки и образованием более плотной коагуляционной структуры, задерживающей испарение воды из бетона. Данное обстоятельство подтверждается также тем, что в начальном периоде, примерно до 8-12 ч, теплотери при ветре были значительно больше, чем при его отсутствии. Это означает, что твердая пленка еще не сформировалась и действие ветра в этот период ускорило испарение воды из бетона. Пересечение данных кривых показывает время становления защитной пленки средства Эмкорил БФМК, равное, при скорости ветра $v=3$ м/с, примерно, 12 ч, а при $v=7$ м/с – 7-8 ч.

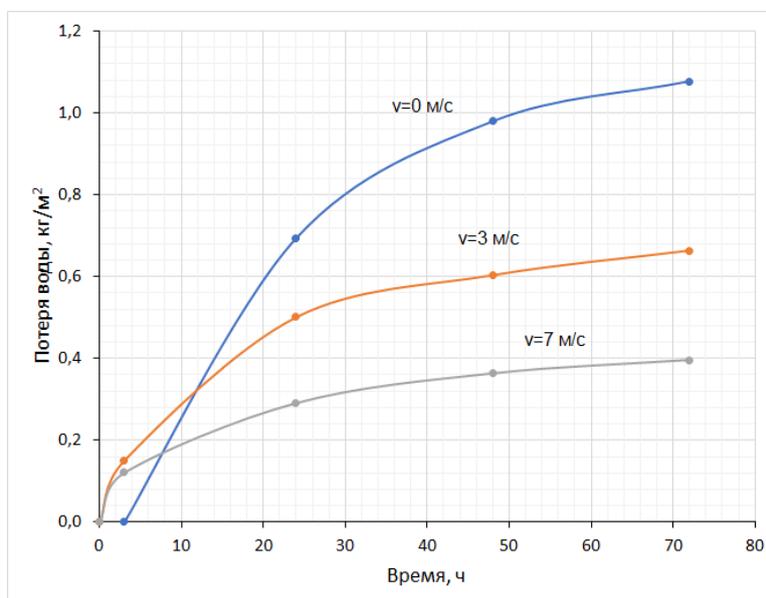


Рис. 3. Влияние скорости ветра на потерю влаги через покрытие Эмкорил БФМК расходе 200 г/м², температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 60 %

Fig. 3. The effect of wind speed on moisture loss through Emcoril BFMK coating at a rate of 200 g/m², a temperature of 20 °C and a relative humidity of 60 %

При более высокой температуре (40 °С) и более низкой относительной влажности воздуха (30 %) высыхание пленки ускоряется и время ее становления составляет при скорости ветра 3 м/с, около, 4-5 ч (рис. 4). При скорости ветра 7 м/с пленка устанавливается очень быстро и в течение первых трех часов происходит удаление влаги только из нанесенного покрытия. Поэтому на рис. 4 нижняя кривая отстоит от начала оси абсцисс на 3 часа.

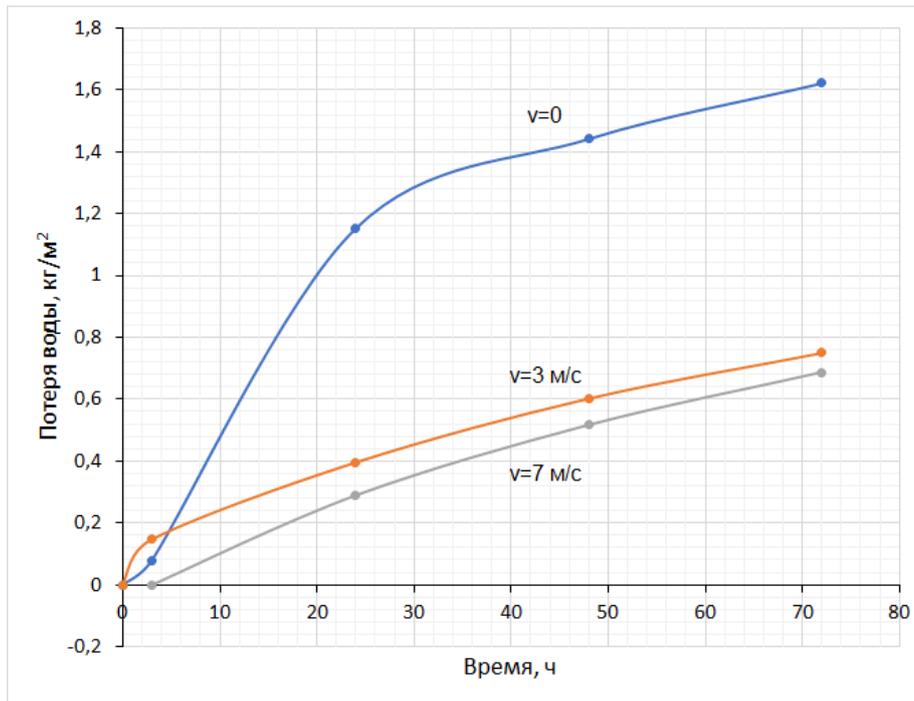


Рис. 4. Влияние скорости ветра на потерю влаги через покрытие Эмкорил БФМК расходе 200 г/м², температуре 40 °С и относительной влажности воздуха 30 %

Fig. 4. The effect of wind speed on moisture loss through Emcoril BFMK coating at a rate of 200 g/m², a temperature of 40 °C and a relative humidity of 30 %

При увеличении расхода средства (толщины покрытия) время формирования твердой структуры пленки увеличивается (рис. 5).

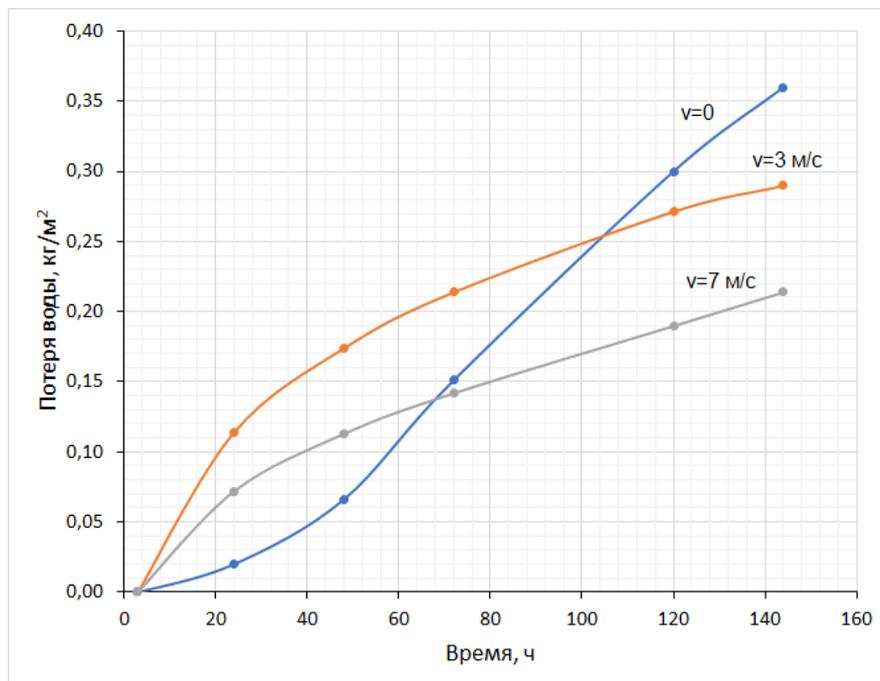


Рис. 5. Влияние скорости ветра на потерю влаги через покрытие Эмкорил БФМК расходе 400 г/м², температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 60 %

Fig. 5. The effect of wind speed on moisture loss through Emcoril BFMK coating at a rate of 400 g/m², a temperature of 20 °C and a relative humidity of 60 %

4 Conclusions

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Наилучшим средством из испытанных является катионактивная эмульсия Эмкорил БФМК, коэффициент защиты которой составляет в стандартных условиях в зависимости от толщины пленки от 75 до 90 %. Похожие значения приводят и другие авторы, например в работе [20] указано 80-90 % по сравнению с обычным отверждением. В порядке понижения эффективности далее следуют Эмкорил БФМА, Эмульсия К и Эмульсия ЕВ 600. Катионактивные эмульсии лучше защищают бетон от высыхания, чем анионактивные, а полимерно-парафиновые составы более эффективны, чем парафиновые. Это не согласуется с работой [20], в которой наиболее эффективной мембраной названа восковая эмульсия.

2. Суммарная потеря влаги снижается с увеличением расхода ПВС (толщины защитной пленки) практически по обратно пропорциональной зависимости. С увеличением толщины покрытия прирост эффективности падает. Такой характер влияния толщины пленки на ее эффективность наблюдался для всех испытанных средств.

3. Различные средства независимо от толщины отличаются по скорости испарения влаги от незащищенной поверхности только в начальном периоде. В дальнейшем скорость испарения через покрытия такая же, как и с незащищенной поверхности бетона. Следовательно, покрытия тормозят испарение влаги только в течении первых 1-2 суток, далее они не работают. Это можно объяснить тем, что скорость испарения в начальном периоде лимитируется защитной пленкой, а по мере уменьшения влагосодержания в бетоне лимитирующей стадией становится диффузия в бетоне.

4. Наличие ветра уменьшает суммарное количество потерянной бетоном воды после нескольких часов твердения и тем сильнее, чем выше скорость ветра. Это объясняется ускоренным высыханием на ветру защитной пленки и образованием более плотной структуры, задерживающей испарение воды из бетона. Однако в начальном периоде до 2-20 ч (в зависимости от условий) влагопотери при ветре были значительно больше, чем при его отсутствии. Это означает, что твердая пленка еще не сформировалась и действие ветра ускорило испарение воды из бетона.

Полученные данные по влиянию ветра противоречат результатам работы [13], согласно которым при увеличении скорости ветра потеря эффективности имеет тенденцию увеличиваться.

5 Acknowledgements

This research work was supported by the Academic Excellence Project 5-100 proposed by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation.

References

1. Wasserman, R., Bentur, A.: Curing technologies, strength and durability performance. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III - Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR 2012 (2012).
2. MEMBRANE CURING OF CONCRETE (CASE STUDY). Int. J. Adv. Eng. Res. Dev. 4, (2017). <https://doi.org/10.21090/ijaerd.92647>.
3. Usanova, K., Barabanshchikov, Y.G.: Cold-bonded fly ash aggregate concrete. Mag. Civ. Eng. 95(3), 104–118 (2020). <https://doi.org/10.18720/MCE.95.10>.
4. Bushmanova, A. V., Barabanshchikov, Y.G., Semenov, K. V., Struchkova, A.Y., Manovitsky, S.S.: Thermal cracking resistance in massive foundation slabs in the building period. Mag. Civ. Eng. 76, 193–200 (2017). <https://doi.org/10.18720/MCE.76.17>.
5. Barabanshchikov, Y., Semenov, K., Zimin, S., Vatin, N., Borshcheva, K., Belkina, T.: Crack-resistance of the reinforced concrete wall under conditions of temperature deformation constrained by the foundation. Constr. Unique Build. Struct. 51–62 (2018). <https://doi.org/10.18720/CUBS.71.5>.
6. Kumar, M.M., Maruthachalam, D.: Experimental Investigation of Self Curing Concrete. Int. Res. J. Eng. Technol. 4, (2017).
7. Pavlov, A., Semenov, K., Barabanshchikov, Y., Son, Y., Prokhorova, I., Zaichenko, N.: Pipe

- Cooling of Concrete Masses. In: Lecture Notes in Civil Engineering. pp. 605–612. Springer (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_53.
8. Yao, J., Wang, Z., Tang, D.: Development and Application of Water-Saving and Moisture-Retaining Membrane Made from Controllable High Polymer Materials for Concrete Curing. Presented at the (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-319-95759-3_1.
 9. Ye, D., Shon, C.S., Mukhopadhyay, A.K., Zollinger, D.G.: New performance-based approach to ensure quality curing during construction. *J. Mater. Civ. Eng.* 22, (2010). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000068](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000068).
 10. Mather, B.: A Discussion of the Paper “Membrane curing of concrete: Moisture loss” by J. Wang, R.K. Dhir and M. Levitt, (1996). [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00208-1](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00208-1).
 11. Azamatovna, K.A., Igorevna, P.M.: Rupture and repair of artificial runway pavements No Title. *AlfaBuild.* 9, 17–28 (2019). <https://doi.org/10.34910/ALF.9.2>.
 12. Vukcevic, I.: Performance of concrete works in extreme climatic conditions in Montenegro. *Constr. Unique Build. Struct.* 99–107 (2015). <https://doi.org/10.18720/CUBS.28.7>.
 13. Choi, S., Yeon, J.H., Won, M.C.: Improvements of curing operations for Portland cement concrete pavement. *Constr. Build. Mater.* 35, 597–604 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.065>.
 14. Cervo, T.C., Balbo, J.T., Badawy, M., Severi, A.A.: Influence of curing procedures and porosity in the flexural resistance of concretes for paving. *Rev. IBRACON Estruturas e Mater.* 3, (2010). <https://doi.org/10.1590/s1983-41952010000400002>.
 15. Wasserman, R., Bentur, A.: Efficiency of curing technologies: Strength and durability. *Mater. Struct. Constr.* 46, (2013). <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0021-9>.
 16. Wang, J., Dhir, R.K., Levitt, M.: Membrane curing of concrete: Moisture loss. *Cem. Concr. Res.* 24, (1994). [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90160-0](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90160-0).
 17. Gowsika, D., Balamurugan, P., Kamalambigai, R.: Experimental Study on Curing Methods of Concrete. *Int. J. Eng. Dev. Res.* 5, (2017).
 18. Kholia, R., Vyas, B.A., Tank, T.G., Student, G., College, L.D.E.: EFFECT ON CONCRETE BY DIFFERENT CURING METHOD AND EFFICIENCY OF CURING COMPOUNDS. *Int. J. Adv. Eng. Technol.* 4, (2013).
 19. Yao, J.L., Wang, Z.Q., Tang, D.H.: Development and application of water-saving and moisture-retaining membrane made from controllable high polymer materials for concrete curing. *J. Perform. Constr. Facil.* 33, (2019). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001261](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001261).
 20. Nahata, Y., Kholia, N., Tank, T.G.: Effect of Curing Methods on Efficiency of Curing of Cement Mortar. *APCBEE Procedia.* 9, (2014). <https://doi.org/10.1016/j.apcb.2014.01.040>.
 21. Birt J. C.: Curing Concrete: An Appraisal of Attitudes, Practices and Knowledge. *Construction Ind. Research & Info. Assn* (February 1973) (1973).
 22. Wainwright P. J., Cabrera J. G., G.N.: Assessment of the efficiency of chemical membranes to cure concrete. In: Conference: Protection of Concrete - International Conference 1990. At: Dundee, Scotland, March 2019. pp. 837–849 (2019).
 23. Yao, J., Wang, H., Yuan, J., Qu, M.: Membrane-Forming Performance of Emulsified Wax Curing Agent and Mechanical Properties of Ice Layer atop Cement Concrete Pavement. *Adv. Civ. Eng. Mater.* 7, (2018). <https://doi.org/10.1520/acem20170124>.
 24. Yuan, J.-B., Yao, J.-L., Wang, H.-C., Qu, M.-J.: Membrane-Forming Performance and Application of Emulsion Wax Curing Agent (EWCA) for Cement Concrete Curing. Presented at the (2018). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61633-9_18.
 25. Barabanschikov, Y., Gatiullin, V.A., Muhanna, A.: Friction parameter surface treated concrete with a remedy against dryness. *Constr. Unique Build. Struct.* 166–175 (2014). <https://doi.org/10.18720/CUBS.22.13>.