

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ.

Бичев И.К. (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*)

В статье описывается влияние дисперсного армирования и модифицирующих добавок на технологию возведения буроинъекционных свай. Это влияние приведено на примере изменения технологических показателей (подвижность смеси и водоотделение).

Много существенных проблем возникает у строительных организаций в процессе планирования и производства работ при новом городском строительстве или реконструкции старых строений. Особенно важной проблемой является устройство или усиление фундаментов в условиях плотной городской застройки. Важным условием технологии устройства или усиления фундаментов в таком случае является отсутствие динамических нагрузок. Так как динамические воздействия при устройстве или реконструкции фундаментов могут пагубно повлиять на рядом стоящие здания. Технология устройства буроинъекционных свай (БИС) выгодно отличается от других технологий, именно отсутствием этих нагрузок. Технология устройства БИС отличается высокой мобильностью, и возможностью производить усиления зданий не прекращая эксплуатации.

Известен ряд нерешенных задач при устройстве и эксплуатации буроинъекционных свай. Особое внимание стоит обратить на сваи малого диаметра (80-150мм). В этих сваях отсутствует объемное армирование. Армирование состоит из одиночного стержня, а в некоторых случаях вообще отсутствует. В таких сваях, существенно снижаются как их технологические, так и эксплуатационные показатели. Перечислим лишь некоторые из них:

- низкая трещиностойкость и, как следствие этого, значительное повышение проницаемости свай, коррозия тела свай и арматуры, уменьшение несущей способности свай;
- невысокие прочностные характеристики свай вследствие отсутствия объемного армирования.

Поэтому решение задач по совершенствованию данной технологии является актуальным.

В данной работе была поставлена задача, сохранив на необходимом уровне технологические показатели – улучшить эксплуатационные характеристики. Для этого было предложено дополнительное дисперсное армирование таких свай[1]. В качестве дополнительного (вторичного) армирования предлагается использовать дисперсно-распределенную в тампонажном растворе, из которой делают сваю, полимерную фибру.

Предварительные исследования технологии устройства буроинъекционных свай из бетонной смеси с дисперсным армированием показали явные положительные результаты. Например - применение полимерной фибры практически не изменяет подвижности бетонной смеси, при этом прочности на срез и изгиб повышаются соответственно на 17 и 15%[2].

Поэтому были проведены дополнительные эксперименты по исследованию свойств тампонажных растворов, предназначенных для устройства буроинъекционных свай, дисперсно-армированных полимерной фиброй. В состав исследуемых растворов, в качестве наполнителя вводился микрокремнезем.

Литературный анализ показывает, что особенности влияния микрокремнезема на процессы твердения бетонного состава проявляются в интенсивной реакции с гидратом кальция и образовании плотной фазы кальций-силикат-гидрата, уменьшении пористости. Это приводит к росту прочности и плотности бетона. Бетон, содержащий микрокремнезем, может обладать большей прочностью и меньшей проницаемостью для грунтовых вод [3].

В наших исследованиях кроме микрокремнезема варьировалось соотношение мелкозернистого и крупнозернистого песков. Как известно, качество мелкого заполнителя в значительной мере обуславливает физико-механические и технологические свойства бетонов. Для мелкозернистого бетона (без щебня), применяемого в большинстве случаев при устройстве буроинъекционных свай, основной интегральной оценкой заполнителя служит модуль крупности песков. Известно что, повышая модуль крупности песка, увеличивается подвижность смеси и прочностные показатели [4]. Поэтому в нашем эксперименте было исследовано влияние такого соотношения на эксплуатационные показатели буроинъекционных свай.

Эксперимент проводился по несимметричному D-оптимальному трехфакторному плану. Варьировались три технологических фактора:

1. Количество полипропиленовой фибры Ваузон, $X_1 = 400 \pm 200$ гр. на 1 м^3 готовой растворной смеси (использована для предотвращения возникновения усадочных трещин и повышения тре-

- щностойкости бетонного состава).
2. Количество микрокремнезема (ферросилиция), $X_2 = 5 \pm 5$ м. ч. (количество массовых частей заменяющих часть цемента, то есть допустимая граница части цемента –90 м. ч.), пыль газоочисток – отходы производства, образующиеся на заводах ферросплавов при выплавке ферросилиция;
 3. Зерновой состав песка, X_3 : мелкий песок (М) с моделью крупности 1,1, смесь песков (М/К) в соотношении 1:1 или крупный песок (К) с моделью крупности 2,1

Все экспериментальные данные подвергались многостадийной математической обработке в системе COMPEX-99 (ОГАСА).

В ходе проведения эксперимента, на первом его этапе, оценивался такой важный технологический показатель бетонной смеси как расплыв смеси, он характеризует подвижность и удобоукладываемость смеси. Расплыв смеси определялся по конусу АзНИИ. Выбор данного показателя обусловлен технологическими требованиями при устройстве буроинъекционных свай [6].

По 15 экспериментальным значениям определения расплыва смеси тампонажного раствора построена трехфакторная нелинейная экспериментально-статистическая модель (ЭС-модель) с 7 значимыми (односторонний риск 0.1) оценками коэффициентов (ошибка эксперимента $s_3 = 6.69$ мм):

$$D \text{ (мм)} = 179.8 - 5.86x_1 + 7.0x_1x_2 - 26.2x_2 + 6.8x_2x_3 + 24.0x_3 - 17.8x_3^2 \quad (1)$$

Поле свойств данной модели [5] показывает максимум $D_{\max} = 222.98$ мм в точке с координатами $x_1 = x_2 = -1$, $x_3 = 0.487$ и минимум $D_{\min} = 103.85$ мм в точке с координатами $x_1 = x_3 = -1$, $x_2 = 1$. То есть, наиболее подвижными являются смеси с минимальной дозировкой фибры (200 г/м^3) без ферросилиция и с преобладанием крупного песка, что вполне логично с точки зрения бетоноведения.

Однофакторные зависимости, построенные по (1) таким образом, что их линии проходят через точки минимума и максимумам, то есть отображают влияние варьируемых факторов состава в экстремумах, показаны на рис.1. При этом два не отображенных на каждой из диаграмм фактора фиксируются на уровнях, обеспечивающих соответственно максимальное и минимальное значение выхода (в данном случае – подвижности смеси).



Рис. 1. Влияние варьируемых факторов состава модифицированного мелкозернистого бетона на диаметр расплава смеси (мм) в зонах максимальных и минимальных значений.

Анализ показанных на рис. 1 диаграмм позволяет сказать, что наиболее существенно на подвижность (расплав) смеси тампонажного раствора БИС влияет дозировка ферросилиция – при введении в состав раствора 10 м.ч. данного модификатора, расплав смеси снижается примерно на 80 мм как в зоне минимальных, так и максимальных значений. Также весьма ощутимое влияние оказывает переход от мелких песков к смеси мелких с крупными примерно в равных долях – наблюдается увеличение расплава на 45-50 мм. Дальнейшее нарастание доли крупного песка в смеси практически не влияет на подвижность смеси в зоне максимальных значений и несущественно (на 10-20 мм) повышает расплав в зоне минимальных значений. Увеличение дозировки фибры от 200 до 600 г/м³ снижает расплав смеси примерно на 25 мм в зоне максимальных значений и не оказывает влияния на подвижность в зоне минимальных. Последний факт можно объяснить тем, что в смесях на мелких песках с большим содержанием ферросилиция изменение насыщенности «каркаса» волокон фибры практически уже не сказывается на величине усилий, необходимых для растекания смеси.

Диаграмма в виде куба, построенная по модели (1) и отображающая влияние дозировки фибры, микрокремнезема и зернового состава песка на расплав смеси показана на рис. 2.

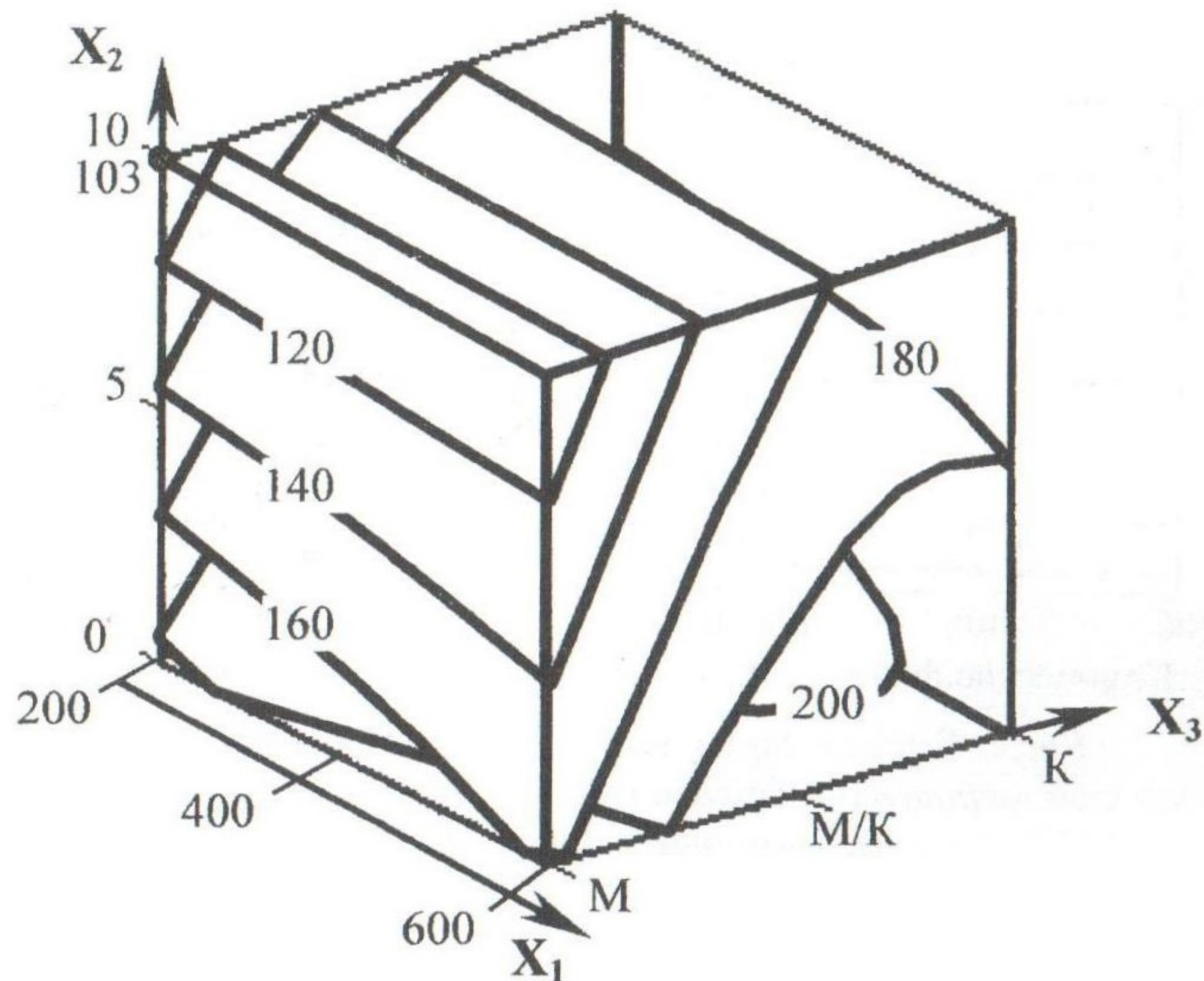


Рис.2. Влияние дозировки фибры, микрокремнезема и зернового состава песка на диаметр расплыва смеси (мм).

Анализ диаграммы позволяет сказать, что если в зоне составов на мелких песках с большой (выше 8 м.ч.) дозировкой микрокремнезема изменение дозировки фибры практически не сказывалось на величине расплыва (что отмечалось выше), то как при снижении уровня x_2 (количества ферросилиция) так и при повышении уровня x_3 (крупности песка) прослеживается тенденция снижения расплыва при увеличении количества фибры в смеси. Также немаловажно отметить, что даже при максимальных дозировках модификаторов (фибры и ферросилиция) составы тампонажных растворов на крупных песках и смесях песков показывает расплыв не менее 160 мм, что позволяет использовать их для производства буронагнеточных свай.

Помимо подвижности смеси исследовался такой важный для тампонажных растворов технологический показатель как водоотделение смеси (W_{out} – в % по массе). ЭС-модель, описывающая влияние варьируемых факторов состава на величину W_{out} , имеет вид ($s_3 = 0.076\%$):

$$\begin{aligned}
 W_{out} (\%) = & 1.67 - 0.06x_1 + 0.04x_1x_2 + 0.07x_1x_3 \\
 & - 0.48x_2 - 0.08x_3^2 - 0.17x_2x_3 \\
 & + 0.23x_3 - 0.09x_3^2
 \end{aligned} \quad (2)$$

В соответствии с данной моделью минимальное водоотделение $W_{out.min} = 0.875\%$ наблюдается в точке с координатами $x_1 = x_2 = 1, x_3 = -1$, то есть у составов с максимальной дозировкой полимерной фибры и ферросилиция на мелком песке. Максимальное же водоотделение $W_{out.max} = 2.423\%$ показывают составы в противоположащем углу факторного пространства – с минимальной дозировкой полимерной фибры и ферросилиция на крупном песке ($x_1 = x_2 = -1, x_3 = -1$). Построенные по модели (2) и проходящие через экстремальные точки однофакторные зависимости показаны на рис.3.

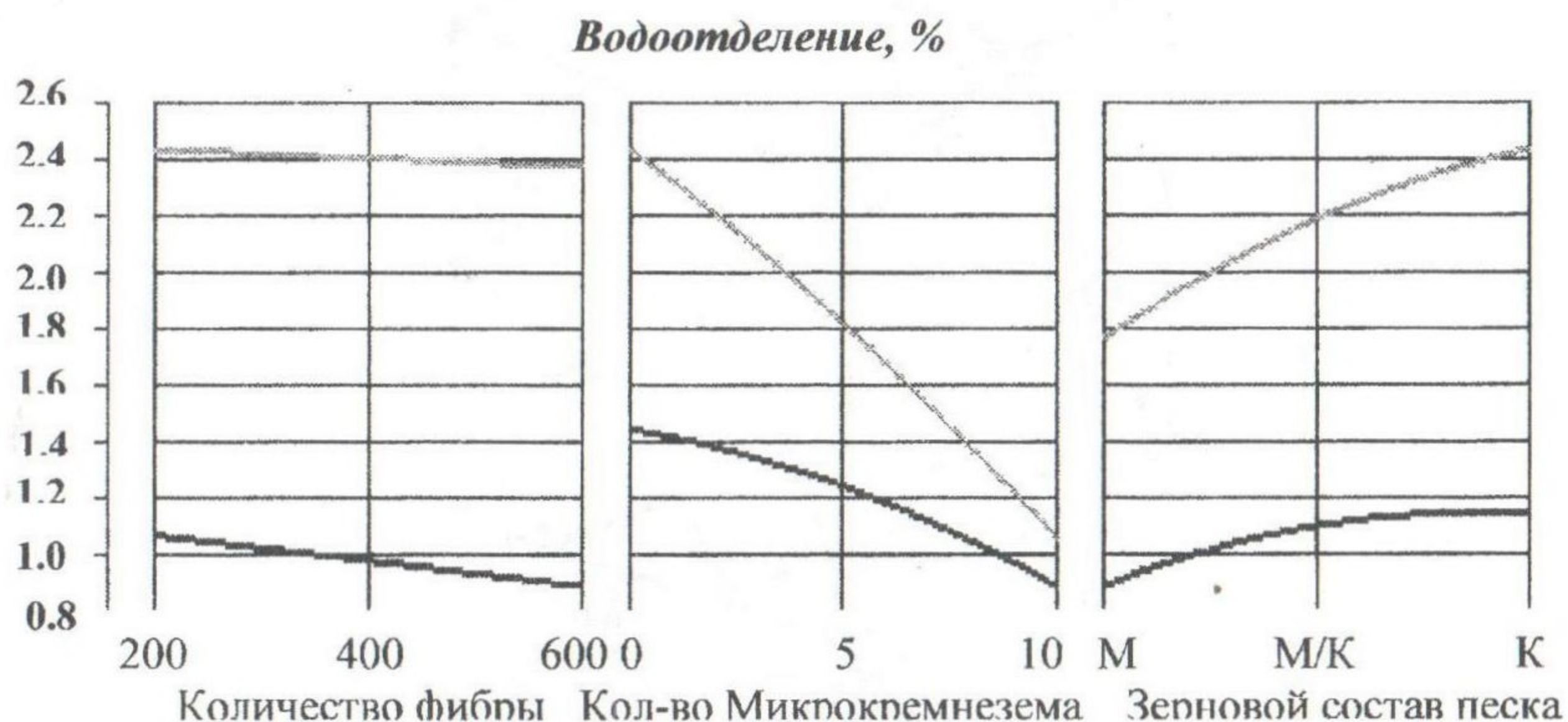


Рис. 3. Влияние варьируемых факторов состава дисперсно-армированного тампонажного раствора на водоотделение смеси (% по массе) в зонах максимальных и минимальных значений.

Из диаграммы видно, что изменение дозировки фибры несущественно влияет на величину водоотделения смеси, хотя и несколько снижает данный показатель. Данное явление можно объяснить тем, что фибра, препятствуя расплыву смеси, практически не удерживает воду после формования. Наиболее ощутимо на водоотделение повлияло введение в смесь ферросилиция. Мелкодисперсный кремний отбирает значительную часть воды затворения и, соответственно удерживает ее в смеси, чем и способствует уменьшению водоотделения (поскольку в эксперименте использовалось постоянное В/Ц смеси). При изменении зернового состава песка и переходе от мелкого к крупному водоотделение смеси увеличивается, что естественно при постоянном В/Ц. Однако немаловажно отметить, что при смене зернового состава песка водоотделение более ощутимо увеличивается в зоне максимальных значений, то есть для смесей без ферросилиция. При наличии в смеси ферросилиция, который, как отмечалось выше, удерживает значитель-

ную часть воды затворения, переход от мелких песков к крупным мало сказывается на водоотделении.

Построенная по модели (2) диаграмма в виде куба, отображающая влияние факторов состава тампонажного раствора БИС на водоотделение смеси, показана на рис. 4. Ее анализ позволяет

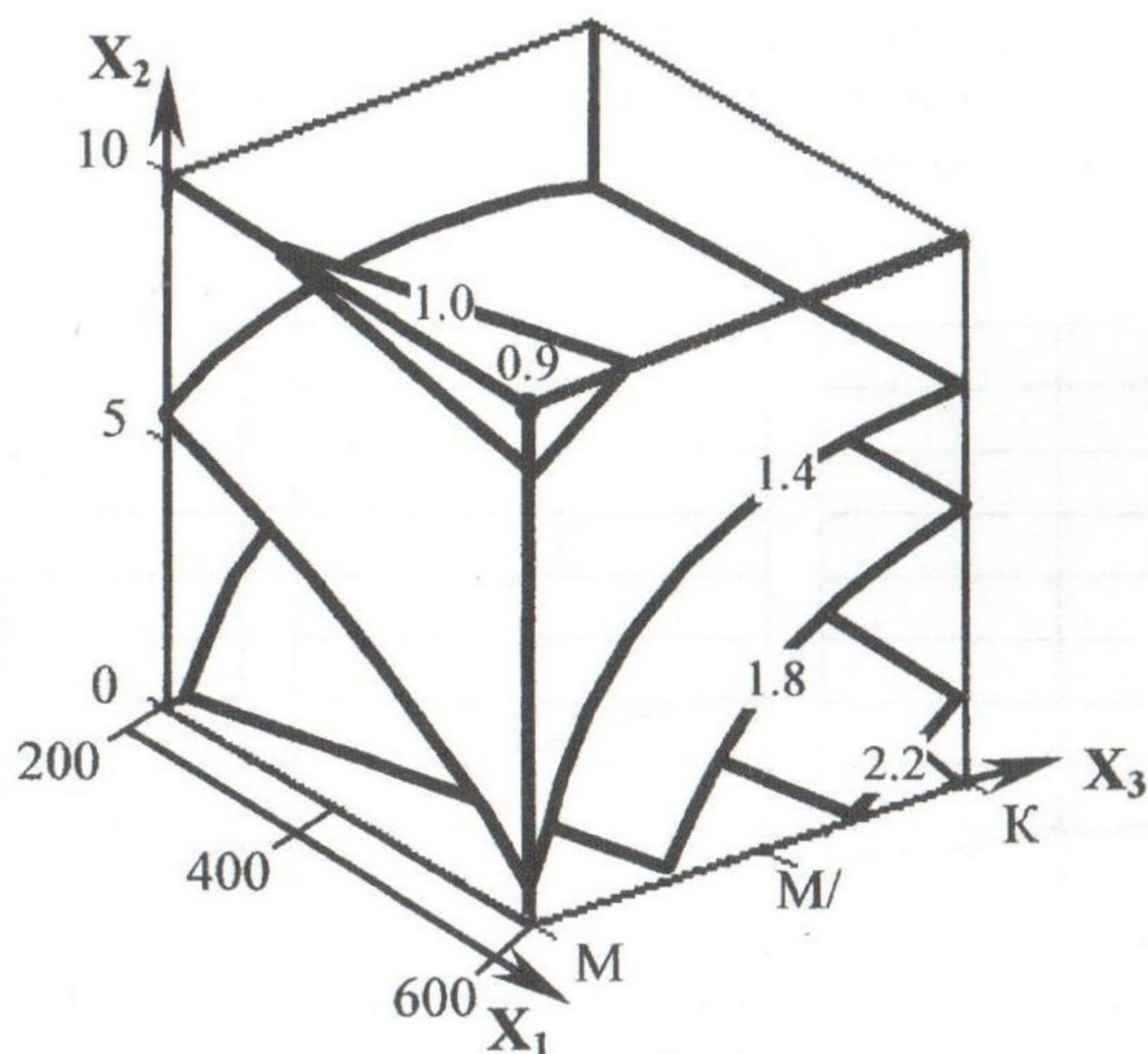


Рис. 4. Влияние дозировки фибры, ферросилиция и зернового состава песка на водоотделение смеси тампонажного рас-

сказать, что влияние дозировки фибры на водоотделение зависит преимущественно от зернового состава песка – если при использовании мелких песков ($x_3 = -1$) рост содержания фибры от 200 до 600 гр/м^3 снижает водоотделение, то на крупных песках ($x_3 = 1$, «дальняя» грань на рис.4) грани изоповерхностей выхода практически параллельны оси x_1 , т.е. при смене дозировки фибры величина W_{out} не изменяется. Также анализ диаграммы позволяет сказать, что для смесей без ферросилиция ($x_2 = -1$, «дно» куба) варьирование остальных двух факторов состава тампонажного раствора (кол-во фибры и зернового состав песка) оказывает большее влияние на водоотделение, чем варьирование этих же факторов для смесей с ферросилицием ($x_2 = 1$, «верхняя» грань куба на рис. 4).

В целом, можно отметить, что влияние варьируемых факторов состава на водоотделение схоже с их влиянием на расплыв смеси. То есть более подвижные смеси показывают соответственно большее водоотделение. Также необходимо отметить, что большая часть составов (за

исключением смесей на крупных песках без ферросилиция) показывают водоотделение ниже 2%, что соответствует требованиям к тампонажным растворам для БИС.

Выводы

1. Влияние исследуемых факторов на технологические показатели изменяется от положительных результатов до отрицательных.
2. Результаты исследований позволяют определить диапазоны изменения факторов, в которых их влияние на технологические показатели либо положительно, либо нейтрально.
3. Для принятия окончательного решения о рекомендациях по величинам исследованных факторов необходимо изучить их влияние на эксплуатационные свойства.

Литература

1. Менайлюк А.И., Попов О.А., Бичев И.К. Способ возведения буринъекционных свай в водонасыщенных грунтах. // Вісник ОГАСА. – Одеса, Місто майстрів, 2006. – Вип. 23. – С.209-214
2. Менайлюк А.И., Попов О.А., Бичев И.К., Кирьяков М.В., Чернов И.С. //Будівельні конструкції. –2007. - №66. – С. 141-150.
3. [www. silika-fume.org / Silika fume association. General information. What is it silika? – 2002](http://www.silika-fume.org/)
4. Мелкозернистые бетоны / Ю.М. Баженов, У.Х. Магдеев, Л.А. Алимов и др. Учебное пособие – М. Стройиздат, 1998. – 147 с.
5. Ляшенко Т.В. Концепция полей свойств – методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении // Вісник Одес. ДАБА. – Одеса, Місто майстрів, 2003. – Вип. 12. – С. 171-17