

## ИССЛЕДОВАНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ СТЕН В ГРУНТЕ

**Менейлюк А. И.** (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*)

Показана разработанная автором методика исследований сцепления арматуры с бетоном, укладываемым под слоем глинистого раствора, а также результаты её использования.

При бетонировании под глинистым раствором буронабивных свай, фундаментов глубокого заложения типа «баррет», стен в грунте и т.п. возникают проблемы, связанные с ухудшением сцепления арматуры с бетоном. Это обусловлено тем, что арматурный каркас до того, как он окажется в бетонной смеси, в течение нескольких часов находится в глинистом растворе. Последний необходим как проходческий раствор, удерживающий грунтовые стенки от обрушения. В это время на арматуре налипают значительное количество глинистых частиц. Слой их обычно достигает нескольких миллиметров. Это существенно сказывается на характере совместной работы арматуры с бетоном: уменьшается сцепление, трещиностойкость, ухудшаются деформативные свойства конструкции в целом. Поэтому была поставлена задача выявить степень влияния технологических факторов на величину сцепления арматуры с бетоном в таких условиях.

Для изучения сцепления арматуры с бетоном наиболее простыми и распространенными являются призматические, цилиндрические или прямоугольные образцы, в которых сцепление определяется при ее выдергивании или продавливании. Такое напряженное состояние в бетоне встречается в природе редко, однако испытания этих образцов позволяют решить ряд важных задач. Их результаты, при определенных условиях, могут быть использованы на практике. При этом арматурный стержень устанавливают в форму. Затем заполняют ее бетоном. После набора прочности бетоном проводят испытание на продавливание арматуры.



Следует отметить, что такая методика для исследования сцепления арматуры с бетоном при возведении конструкций способом «стена в грунте» не приемлема, т.к. при этом не моделируется укладка бетона под слоем глинистого раствора и выдерживание арматуры в глинистом растворе, как это имеет место в натуральных условиях. Натурные эксперименты в траншеях под глинистым раствором слишком дороги. Необходимо было создание такой методики, которая дала бы возможность более простого, но в то же время правильного моделирования технологии возведения конструкций под глинистым раствором. Кроме того, необходимо было изучить влияние воздействия постоянного электрического поля на сцепление арматуры с бетоном. Поэтому методика должна была также обеспечить проведение достаточного количества экспериментов для качественной и количественной оценки основных исследуемых факторов и их совокупности, влияющих на сцепление арматуры с бетоном, уложенным под глинистым раствором. Для этого автором была предложена конструкция стенда для моделирования процесса в условиях, аналогичных возведению стен в грунте. Он представлен на рис. 1. и представляет собой емкость, состоящую из двух частей. Верхняя часть, выполненная из оргстекла, предназначена для глинистого раствора и арматурных стержней. Нижняя часть выполнена в форме сблокированных стальных форм с размерами 100×100×100 мм.

Эксперименты проводились аспирантом Козлюк Э. И. под руководством автора следующим образом. В верхнюю часть стенда (см. рис. 1) заливался глинистый раствор (1) заданной, в соответствии с планом эксперимента, вязкостью эксперимента, вязкостью

Туда же, с определенным тем же планом шагом, опускали арматурные стержни (2, 3, 4). После выдерживания последних в глинистом растворе в течение определенных промежутков времени, предусмотренных планом эксперимента, к двум из них (2, 3) подключали соответствующие полюсы источника постоянного тока. Для сравнения в глинистый раствор погружали контрольные стержни, которые во время опытов оставались не подключенными к источнику тока. После обработки постоянным током стержни опускали в бетонную смесь, имитируя подъем последней в реальных условиях бетонирования стен в грунте. Это было возможно благодаря наличию выдвижного днища в верхней части стенда и соединения верхней и нижней частей с помощью герметика. Арматурные стержни выдерживали в глинистом растворе в течение времени, предусмотренном планом. Затем их подключали к источнику постоянного тока. После истечения заданного в эксперимен-



те времени их погружали в бетонную смесь и отключали от источника тока. Образцы выдерживали в нормальных условиях 28 суток, а затем определяли величину сцепления между арматурой и бетоном в контрольных и опытных образцах.

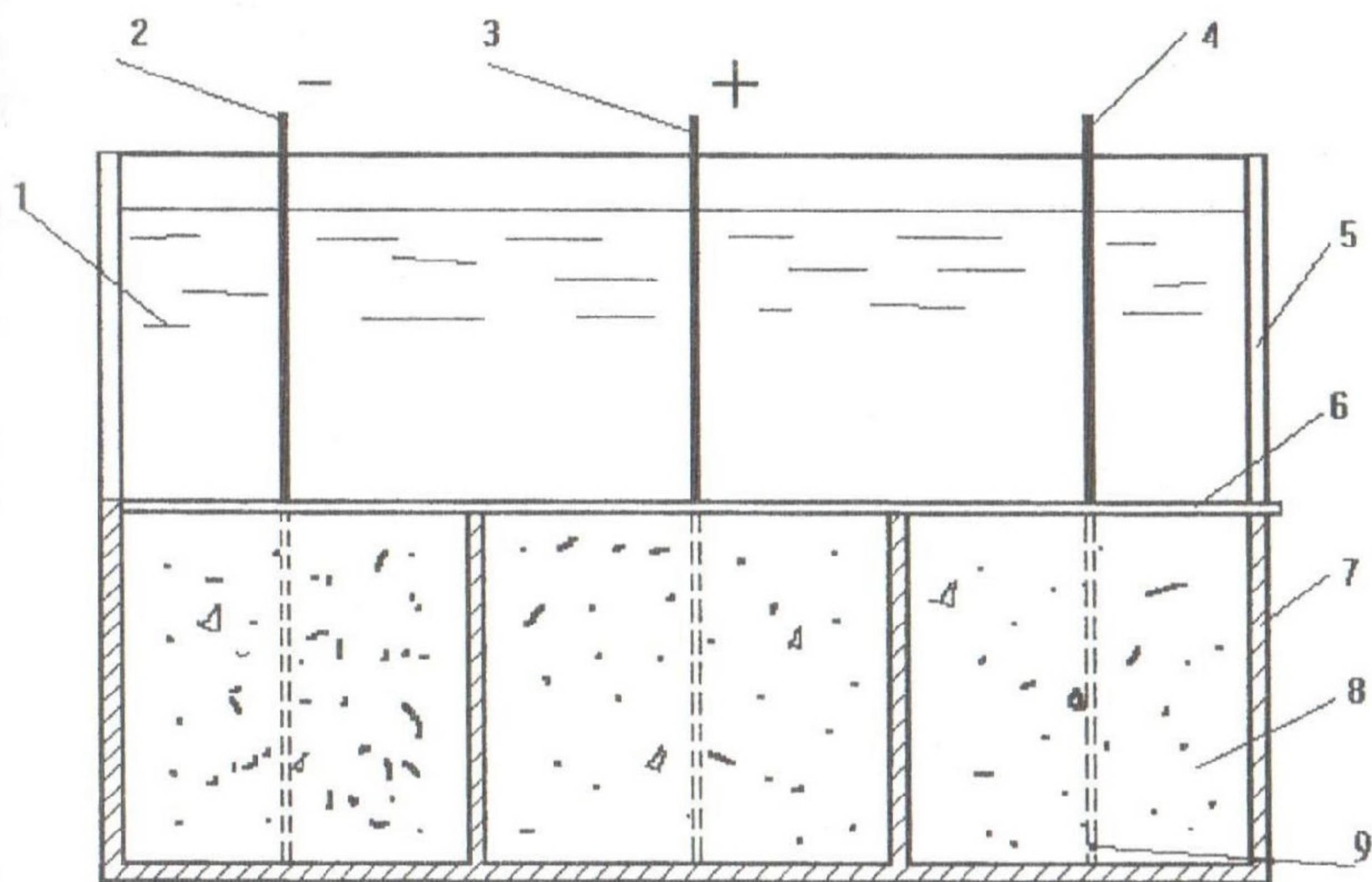


Рис. 1. Схема стенда для лабораторных исследований электрообработки арматуры, бетонируемой под слоем глинистого раствора  
 1 – глинистый раствор; 2 – арматурный стержень, подключенный к отрицательному полюсу источника постоянного тока; 3 – арматурный стержень, подключенный к положительному полюсу источника постоянного тока; 4 – контрольный стержень; 5 – стенка верхней части стенда, выполненная из оргстекла; 6 – выдвижное днище; 7 – стенки стальных форм; 8 – бетонная смесь; 9 – положение арматурных стержней после моделирования процесса бетонирования под глинистым раствором.

Проведение испытаний на сцепление представляло собой продавливание арматуры, забетонированной как было описано выше. Испытания проводились на образцах-кубах с ребром 100 мм с применением гидравлического пресса МС-1000. По геометрической оси кубов бетонирувался одиночный стержень диаметром 14 мм, длиной 120 мм из горячекатаной стали класса А-IV.



В процессе испытаний куб устанавливался на специальную опорную плиту, с предварительно проделанными в ней прорезями для пропуска арматуры. Арматурный стержень имел углубление с центром точно посередине (для приложения сосредоточенной нагрузки по центру стержня). В углубление устанавливался стальной шарик для передачи нагрузки от плиты пресса к центру стержня. Нагружение производили непрерывно с равномерной скоростью  $0,6 \pm 0,4$  МПа/сек до его сдвига, согласно ГОСТа 10180-90.

В исследованиях применялся цемент М400. Состав бетонной смеси на  $1\text{ м}^3$  следующий: цемент – 400 кг, щебень крупностью до 20 мм – 1000 кг, песок – 800 кг, осадка стандартного конуса от 4 до 18 см, водоцементное отношение – от 0,5 до 0,72.

В связи с большим количеством факторов, влияющих на величину сцепления бетона с арматурой, был применен метод сокращенного планирования эксперимента. Для этого приняты планы  $H_3$  и  $H_4$ , близкие к  $D$  – оптимальным [1].

При этом выполнялись 2 наиболее существенных требования – факторы коррелировались (т.е. каждому из рассматриваемых факторов можно было задать любое возможное значение, независимо от значений других переменных) и были совместимы.

Выбор области изменения факторов определялся теоретическими границами существования переменных, техническими возможностями и областью изменения переменных, представляющих практический интерес с точки зрения решаемой задачи.

Полученные результаты оценивались с использованием известной теории экспериментально-статистического моделирования [2]. Модели были допущены для принятия инженерных решений только после их статистического (регрессионного) анализа. Модели проверялись на адекватность с использованием информации о среднеквадратичной ошибке эксперимента и среднеквадратичной ошибке неадекватности. Этим обеспечивалась достоверность оценки экспериментальных результатов.

В качестве фактора, характеризующего свойства глинистого раствора, была принята его вязкость ( $\eta$ ). Пределы варьирования взяты в соответствии с рекомендациями НИИОСП от 19 до 27 сек. В качестве фактора, характеризующего подвижность бетонной смеси, принята осадка стандартного конуса (ОК). Этот фактор изменяли от ОК = 6 см до ОК = 18 см. В качестве третьего фактора было использовано время нахождения арматурного каркаса в глинистом растворе ( $t$ ). Пределы



варьирования от 1 часа до 12 часов. Водо-цементное отношение было постоянным и равнялось 0.6.

В качестве выходного параметра анализировалась величина сцепления арматуры с бетоном ( $\tau$ ).

На рис. 1 а-в показаны прямые изменения параметра  $\tau$  (сцепление арматуры с бетоном) при стабилизации всех факторов, кроме анализируемого  $X_i$ , на уровнях, соответствующих двум оптимальным точкам ( $x_j = \pm 1$ ), что позволяет вести сравнительный анализ в наиболее контрастных условиях.

Из анализа изменения  $\tau$  при переходе факторов с уровня  $x_i = -1$  на уровни  $x_i = +1$  следует, что вязкость глинистого раствора ( $x_3$ ) является наиболее сильным фактором, влияющим на уменьшение сцепления арматуры с бетоном. Вторым по значению фактором является осадка конуса ( $X_2$ ). Влияние фактора  $X_1$  (времени выдержки каркаса в глинистом растворе) на выходной параметр имеет незначительную величину. Влияние всех факторов носят линейный характер.

На рис. 2 факторы проанализированы по степени влияния на  $\tau$  при их среднем значении ( $x_i = 0$ ) мы видим, что наиболее существенное влияние в этом случае оказывает фактор  $X_3$  – вязкость глинистого раствора. Эффект его действия принят за 100%. Вторым по значению является фактор  $X_2$  – осадка конуса, 22%. Практически никакого воздействия на выходной параметр ( $y$ ) не оказывает фактор  $X_1$  – время нахождения арматуры в глинистом растворе.

Следующий этап анализа – ранжирование факторов в подобластях максимума и минимума  $\tau$ . Сравнение однофакторных ЭСМ, построенных в 2-х граничных (экстремальных) вариантах, (рис.3) – это наиболее наглядный метод оценки воздействия факторов на выходной параметр.

Графики этих зависимостей позволяют оценить характер влияния входных параметров ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) на степень сцепления арматуры с бетоном ( $\tau$ ). Так, при движении от точки «а» ( $X_3 = -1$ ) до точки «б» ( $X_3 = +1$ ), что соответствует увеличению вязкости глинистого раствора от 19 до 27 сек, степень сцепления арматуры с бетоном уменьшается в 1,3 раза даже в условиях не оптимальности остальных режимов  $X_j$ .

Возможность оценить влияние технологических факторов на показатель сцепления позволяет назначать их с учетом различных условий бетонирования



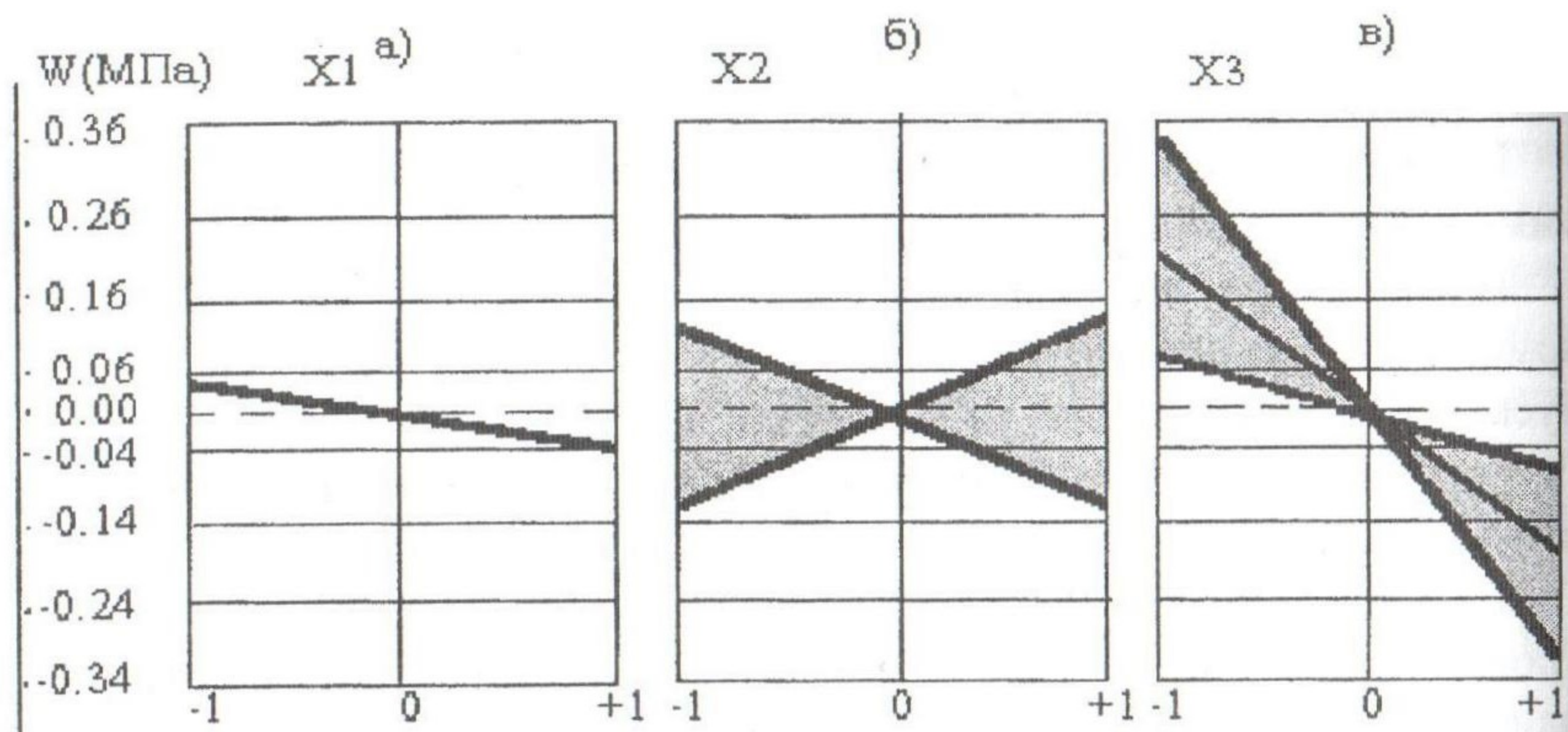


Рис. 1. Влияние технологических факторов  $X_i$  на величину сцепления арматуры с бетоном ( $\tau$ ) при закреплении остальных  $X_j$  на минимальном (-1), среднем (0) и максимальном (+1) уровнях.

а – время нахождения каркаса в глинистом растворе ( $X_1$ ); б – осадка конуса ( $X_2$ ); в – вязкость глинистого раствора ( $X_3$ ).

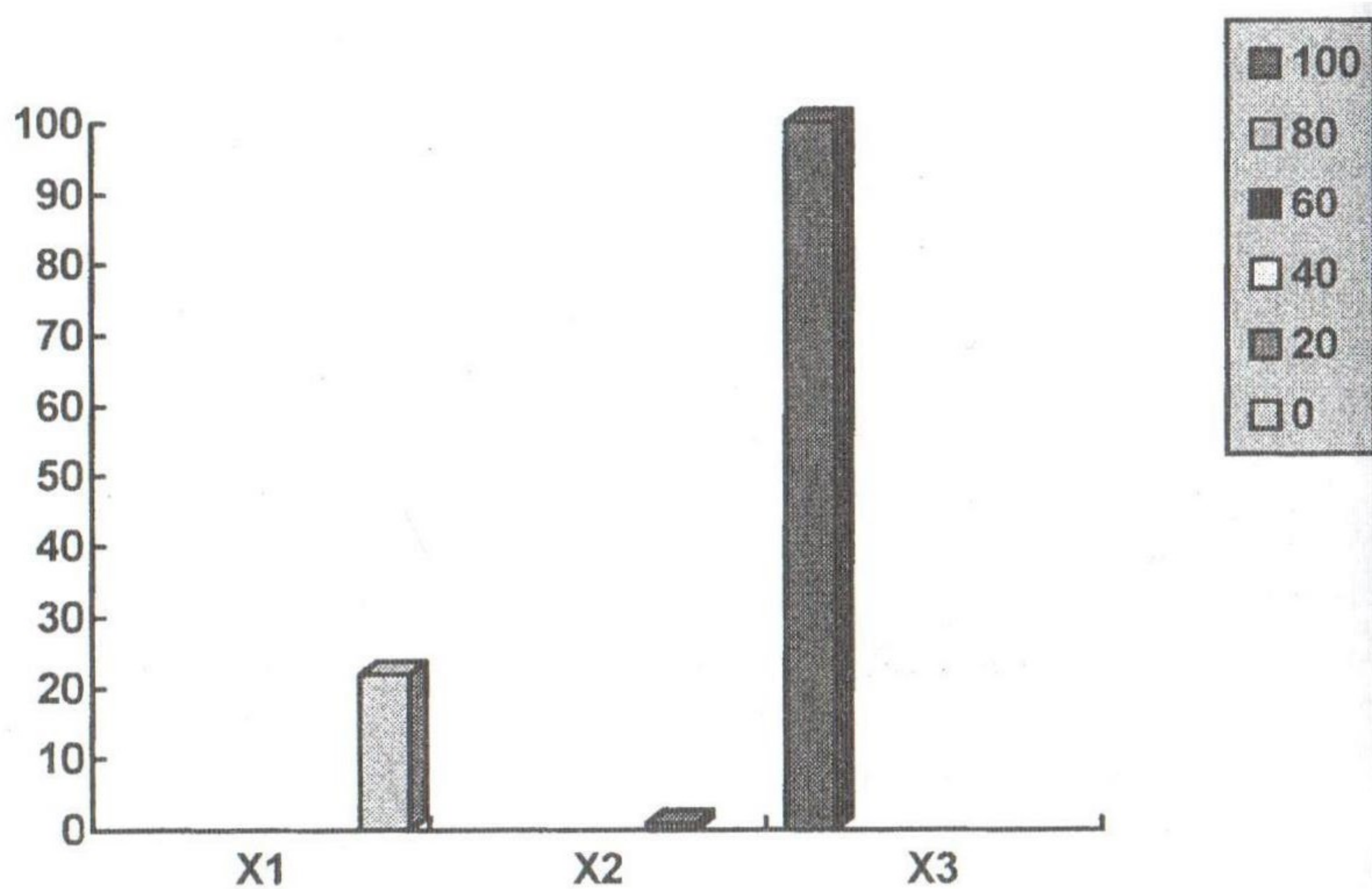


Рис. 2. Ранжирование по среднему факторов технологии по степени влияния (в %) на сцепление арматуры с бетоном.



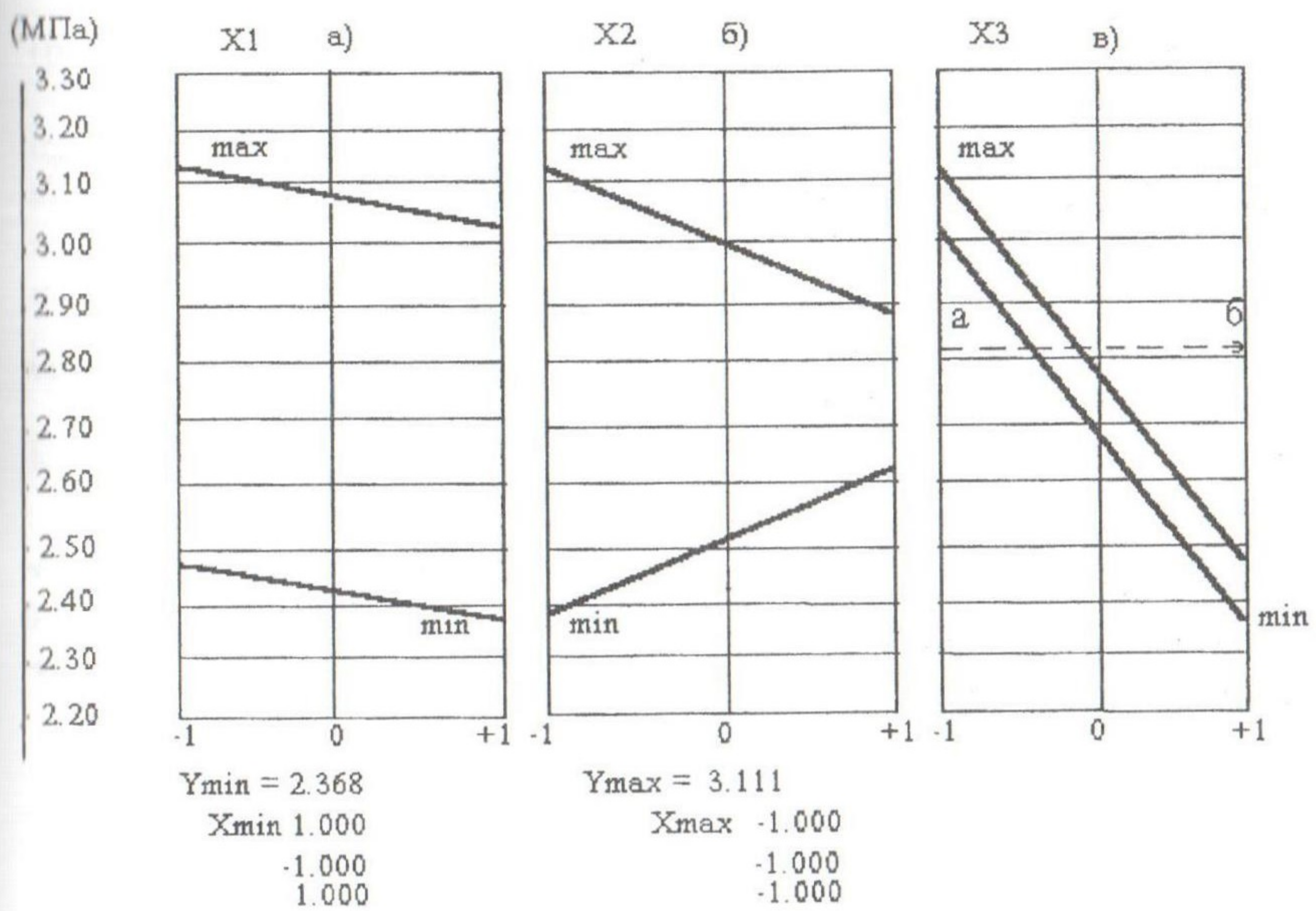


Рис. 3. Моделирование влияния трех факторов на параметр  $\tau$  в условиях их оптимальности.

### Литература

1. Реклеймис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: Кн. 1. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986, – 349 с.
2. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.