

## ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ ПРОЧНОСТИ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ СПОСОБОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ

Мартынов В.И., Соколов В.Н., Фесенко Н.В. (г.Одесса)

Приведены результаты эксперимента по определению прочности и статистических характеристик прочности тротуарной плитки, изготовленной на промышленной установке концерна «Hess» методом вибропрессования. Показано что показатели однородности прочности тротуарной плитки в значительной степени зависят от состава смеси.

В последнее время, при устройстве и облагораживании тротуаров, площадей, пешеходных зон, приусадебных участков и пр. все более широкое распространение получают мелкоштучные элементы мощения, изготавливаемые способом вибропрессования. Особенность метода вибрационного формования с одновременным давлением на бетонную смесь, заключается в использовании жестких смесей и возможности формования изделий различной конфигурации. Метод известен давно. Однако до недавнего времени он распространялся преимущественно для изготовления крупноразмерных изделий. на промбазе ООО «Камбио» (г.Одесса) производится выпуск мелкоштучных элементов мощения различной номенклатуры (рис.1).

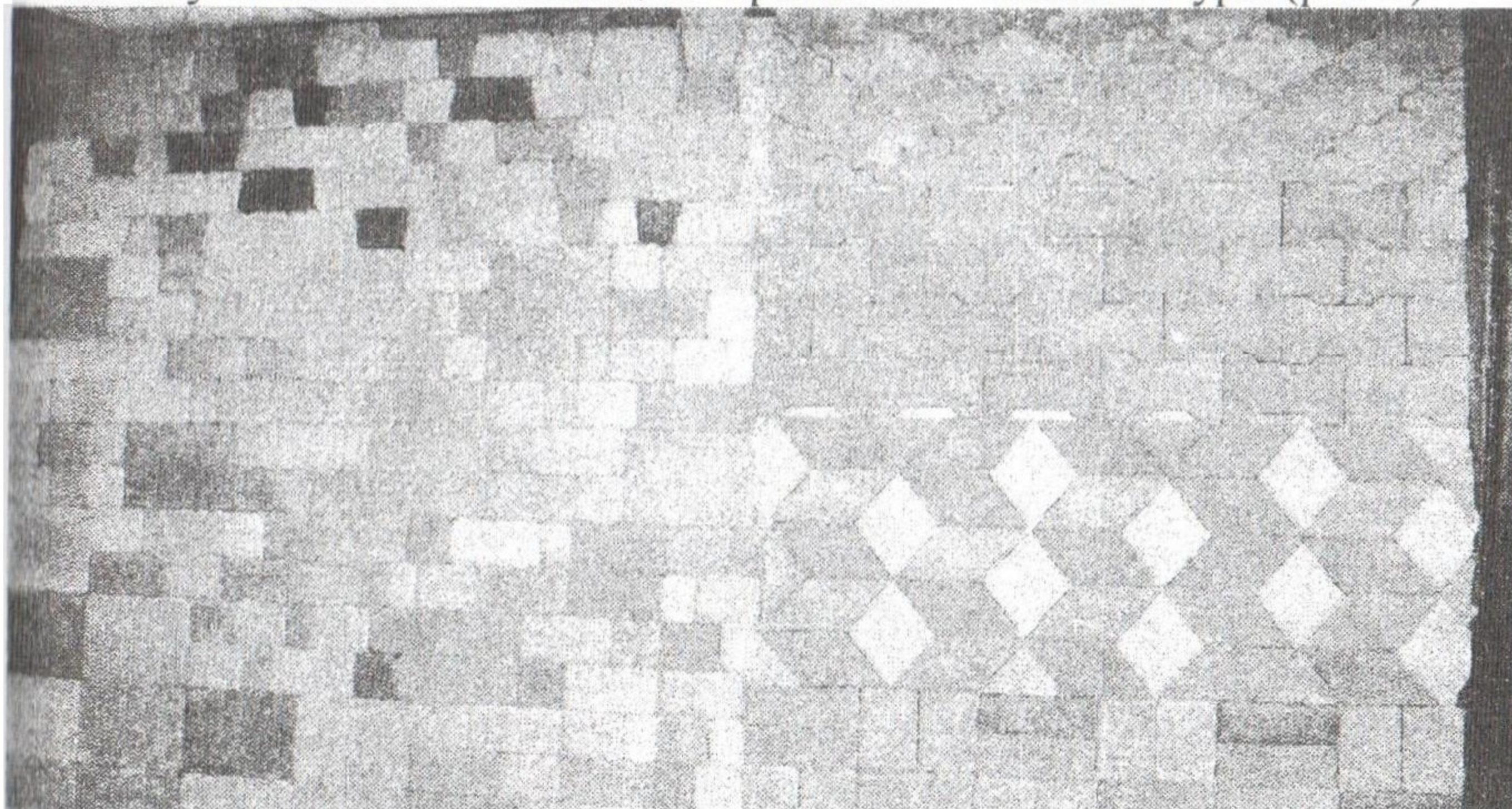


Рис.1. Номенклатура ООО «Камбио»



Изделия изготавливаются на установке концерна «Hess» (Германия). Опыт двухлетней эксплуатации установки в местных условиях выявил ряд вопросов. В первую очередь – обеспечение стабильных показателей качества продукции, а также рационализацию средств, затрачиваемых на обеспечение ее качества. Качество товара обеспечивается преимущественно в процессе его производства. Одним из основных методов определения качества и стабильности технологического процесса является оценка однородности контролируемых параметров, характеризующих качество продукции. С другой стороны, особенности изготовления мелкоштучных изделий методом вибропрессования не позволяют в полной мере смоделировать процесс в лабораторных условиях. Поэтому эксперименты по оптимизации рецептурно-технологических условий изготовления продукции приходится проводить непосредственно в условиях производства. Точность интерпретации и правильность технологических выводов зависит от “чистоты” эксперимента, которая также оценивается степенью однородности контролируемых параметров. Вследствие этого, первоначальная задача в процессе контроля технологического процесса производства тротуарной плитки ООО «Камбио» состояла в оценке однородности прочности и выявлении основных ее носителей. В [2] приведены результаты контроля качества продукции ООО «Камбио», производимой в весенне-летний период 2003 года. Оценивалось влияние следующих факторов на однородность прочности изделий: вид изделия, цвет, смена (дневная или ночная), бригада-изготовитель. Результаты статистической обработки не выявили какого-либо существенного влияния этих факторов на однородность прочности тротуарной плитки. Разброс прочности от этих факторов принят как неизбежный, а они отнесены к неустраняемым.

На следующем этапе был проведен эксперимент с целью оценки влияния рецептурных факторов на однородность прочности тротуарной плитки с одновременным определением составов, обеспечивающих получение продукции с требуемыми показателями качества. Для этого был проведен трехфакторный эксперимент по плану Бокса-Бенкина типа В-3. В качестве переменных факторов были приняты :  $X_1$  – расход цемента, кг/м<sup>3</sup>,  $X_2$  – доля гранитного отсева в его смеси с песком,  $X_3$ - модуль крупности песка. Полные сведения о факторах, их уровнях и интервалах варьирования, приведены в таблице 1.



Таблица 1. Факторы, их уровни и интервалы варьирования

Наименование фактора	Код фактора	Ед. измерения	Уровни варьирования			Интервал варьирования
			-1	0	+1	
X <sub>1</sub> – расход цемента	Ц	кг/м <sup>3</sup>	400	475	550	75
X <sub>2</sub> – доля гранитного отсева в смеси заполнителей	г	дол. ед	0,18	0,24	0,3	0,6
X <sub>3</sub> – модуль крупности песка	Мкр	б/р	1,0	2,1	3,2	1,1

Основными сырьевыми материалами служили: портландцемент Одесского цементного завода марки 400, гранитный отсев фракции менее 5 мм. В качестве мелкого заполнителя на нижнем уровне третьего фактора использовали песок херсонского месторождения с модулем крупности – 1,0. На верхнем уровне – песок вознесенского месторождения с модулем крупности – 3,2. На среднем – их смесь в соотношении 1:1. В соответствии с данными таблицы 1 и матрицы планирования эксперимента по методу абсолютных объемов были рассчитаны составы бетонной смеси. Расчет производили на метр кубический бетонной смеси, а затем пересчитывали на объем замеса бетономешалки – 0,12 м<sup>3</sup>. Расход воды был принят постоянным – 165 л/м<sup>3</sup>.

Образцы тротуарной плитки в форме “брусчатки” формовали в производственных условиях. В соответствии с матрицей планирования эксперимента были изготовлены образцы пятнадцати различных составов. Из каждого замеса отбирали по пять поддонов, на которых одновременно формовалось двенадцать элементов тротуарной плитки. Таким образом, общее количество образцов в каждой строке составляло – шестьдесят штук. Образцы хранились в цехе по производству тротуарной плитки при температуре 12± 2°С. После 28-ми суток выдержки их подвергали испытанию. Испытания проводили в лаборатории кафедры ПСК Одесской государственной академии строительства и архитектуры. В каждой строке плана эксперимента по 48 образцов испытывали на прочность при сжатии на гидравлическом прессе. Полученные результаты были обработаны в системе EXCEL с



использованием встроенного “Пакета анализа” для получения статистических характеристик прочности. Результаты испытаний и их обработки приведены в таблице 2.

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента и статистические характеристики прочности.

№ п/п	Факторы			Коэффициент вариации, %	Стандарт ная ошибка	Стандарт ное отклонен ие	Диспе рсия	Интерв ал	Среднее МПа
	Ц	г	M <sub>кр</sub>						
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>						
1	-	-	-	20,1	0,47	3,23	10,4	16,7	16,0
2	+	-	-	16,8	0,69	4,8	22,7	20,1	28,3
3	-	+	-	11,8	0,41	2,87	8,21	9,95	24,3
4	+	+	-	11,2	0,41	2,87	8,22	13,2	25,6
5	-	-	+	17,3	0,67	4,65	21,6	19,7	27,0
6	+	-	+	7,5	0,38	2,64	7,0	13,0	35,5
7	-	+	+	13,7	0,62	4,32	18,7	16,9	31,6
8	+	+	+	10,6	0,46	3,19	10,2	17,8	30,1
9	-	0	0	12,4	0,45	3,1	9,62	12,1	25,1
10	+	0	0	6,8	0,31	2,16	4,66	10,4	31,9
11	0	-	0	12,4	0,55	3,79	14,4	15,5	30,6
12	0	+	0	10,9	0,43	2,99	8,9	13,7	27,5
13	0	0	-	12,3	0,38	2,69	7,23	11,6	21,9
14	0	0	+	13,7	0,7	4,86	23,6	20,6	35,4
15	0	0	0	16,5	0,72	5,02	25,2	20,0	30,3

На основании полученных данных эксперимента и их математико-статистической обработки в системе “COMPEX” построены математические модели прочности бетона и статистических характеристик.

Математическая модель прочности тротуарной плитки с учетом незначимых коэффициентов имеет вид:



$$R_{сж} = 29,7 + 2,74 * X_1 + 4,35 * X_3 - 2,65 * X_{12} \quad (1)$$

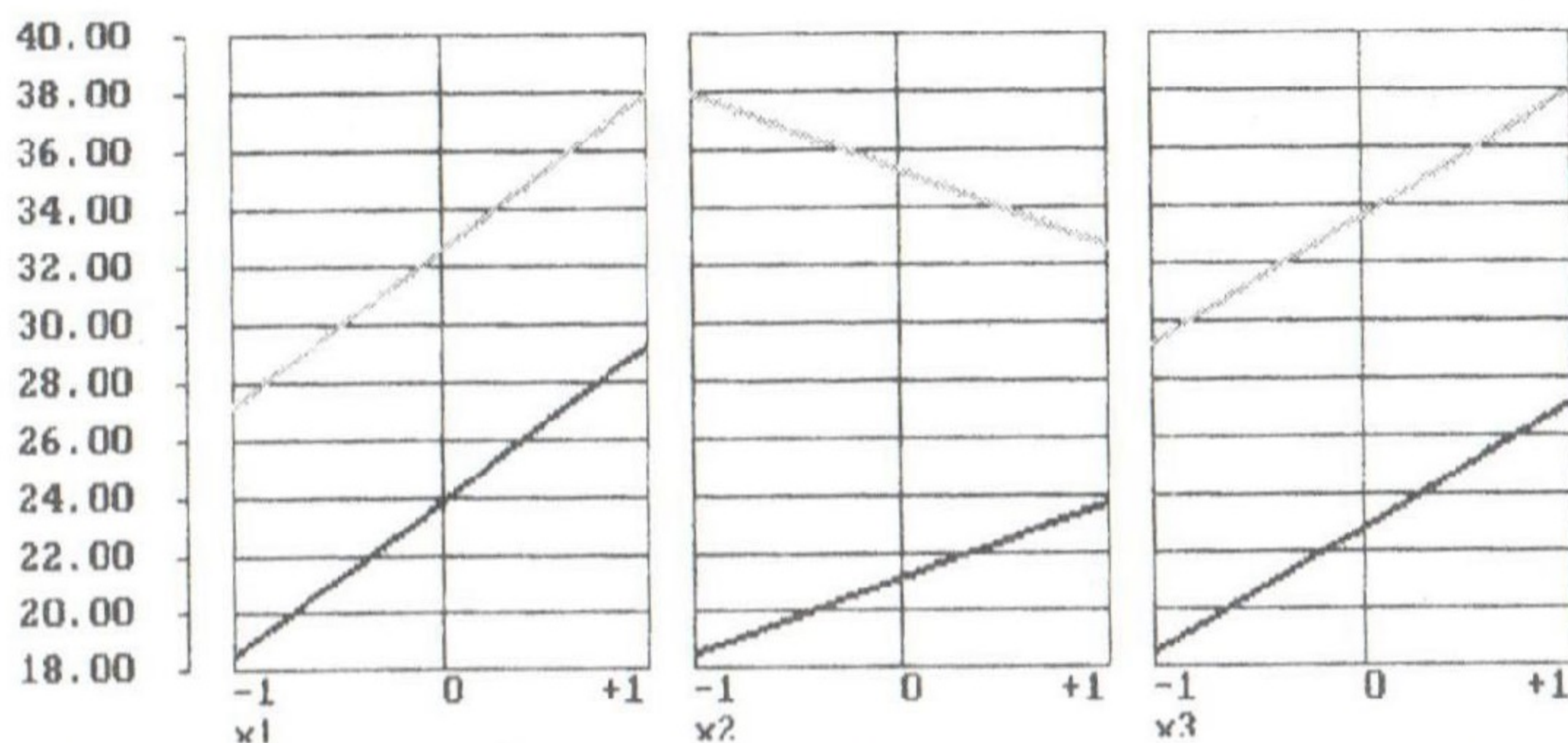


Рис. 1 Квазиоднофакторные зависимости прочности тротуарной плитки

На рисунке 1 изображены квазиоднофакторные зависимости, отражающие степень и характер влияния исследуемых факторов на прочность тротуарной плитки.

Квазиоднофакторные зависимости прочности тротуарной плитки отображены в зоне экстремальных показателей прочности. Как видно из графиков наибольшее влияние на изменение прочности оказывают расход цемента и модуль крупности песка. Причем зависимость имеет линейный характер с положительным знаком линейных коэффициентов математической модели. Т.е. с увеличением расхода цемента и модуля крупности песка прочность возрастает прямо пропорционально, причем, как в зоне максимальных, так и в зоне минимальных значений прочности. Влияние доли гранитного отсева в смеси заполнителей имеет не такое однозначное влияние, как два предыдущих фактора. Так в зоне максимальных показателей прочности увеличение доли гранитного отсева приводит к снижению прочности, а в зоне минимальной прочности – к ее росту. Влияние этого фактора также имеет линейный характер.

Как видно из графика наибольшая прочность, предсказываемая математической моделью составляет – 38,0 МПа и может быть достигнута при сочетании факторов  $X_1 = 1$ ;  $X_2 = -1$ ;  $X_3 = 1$ . В натуральных значениях переменных факторов – расход цемента – 550 кг/м<sup>3</sup>; доля гранотсева в смеси заполнителей – 0,18 и модуле крупности песка – 3,2.

Основным показателем однородности свойств является коэффициент вариации. Математическая модель коэффициента вариации имеет вид:



$$K_b = 12,1 - 2,24 * X_1 - 1,6 * X_2 - X_3 + 1,2 * X_1 X_2 - 1,1 * X_1 X_3 + 1,7 * X_2 X_3 - 1,4 * X_1^2 + 2 * X_3^2$$

Анализ влияния принятых в эксперименте переменных рецептурных факторов на изменение коэффициента вариации проводится также по квазиоднофакторным зависимостям, построенным в зоне экстремальных значений этого показателя. (Рис.2).

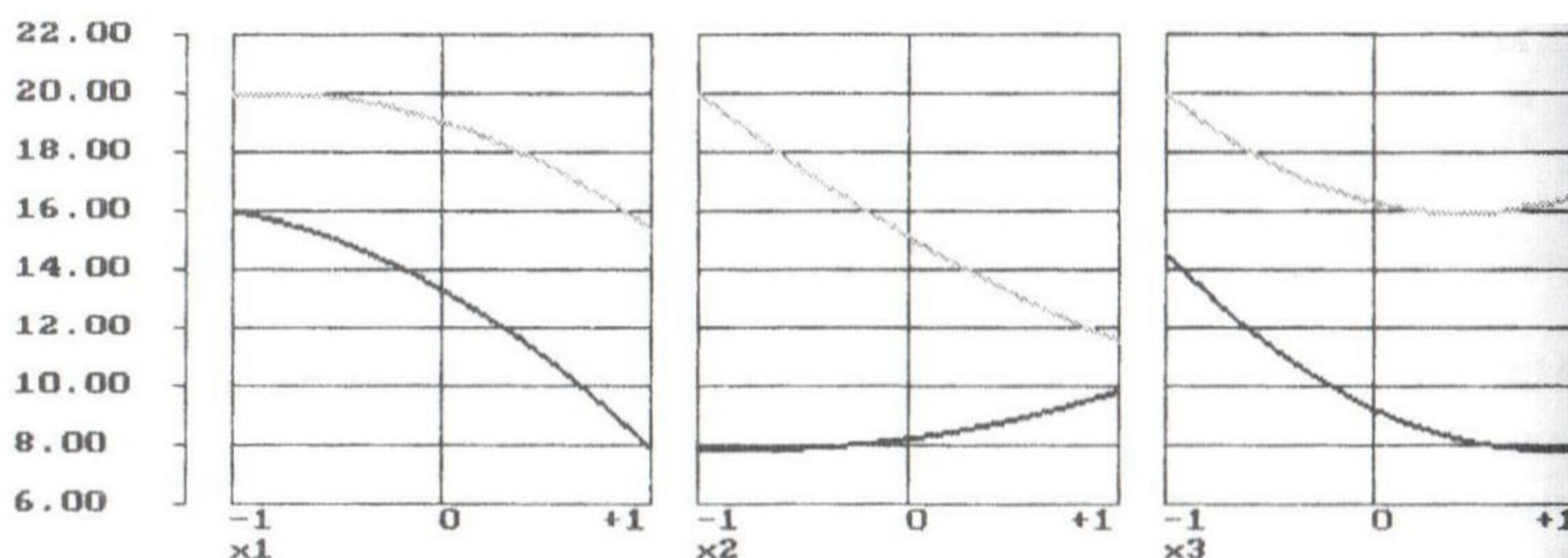


Рис.2. Квазиоднофакторные зависимости коэффициента вариации прочности

Рассматривая влияние исследуемых факторов на изменение коэффициента вариации прочности тротуарных плит в зоне минимальных значений, следует отметить, что наибольшее влияние на коэффициент вариации оказывают расход цемента и модуль крупности песка. С повышением расхода цемента и модуля крупности песка повышается однородность прочности тротуарной плитки. Влияние фактора  $X_2$  – доли гранитного отсева в смеси заполнителей несущественно сказывается на коэффициенте вариации, в особенности в области его минимальных значений. Обращает на себя внимание, что наибольшая однородность достигается в той же области факторного пространства, в которой бетон обладает наибольшей прочностью.

Кроме этих показателей в каждой строке плана эксперимента были построены гистограммы и кривые распределения прочности тротуарной плитки. Как было отмечено, что наилучшие показатели однородности прочности достигаются в той же области эксперимента, что и прочность, т.е. в районе 6-й строки плана эксперимента. Поэтому в качестве примера введены гистограммы и полигоны однородности прочности в области минимальных и максимальных значений однородности прочности – в 6-й и 1-й строке плана эксперимента.



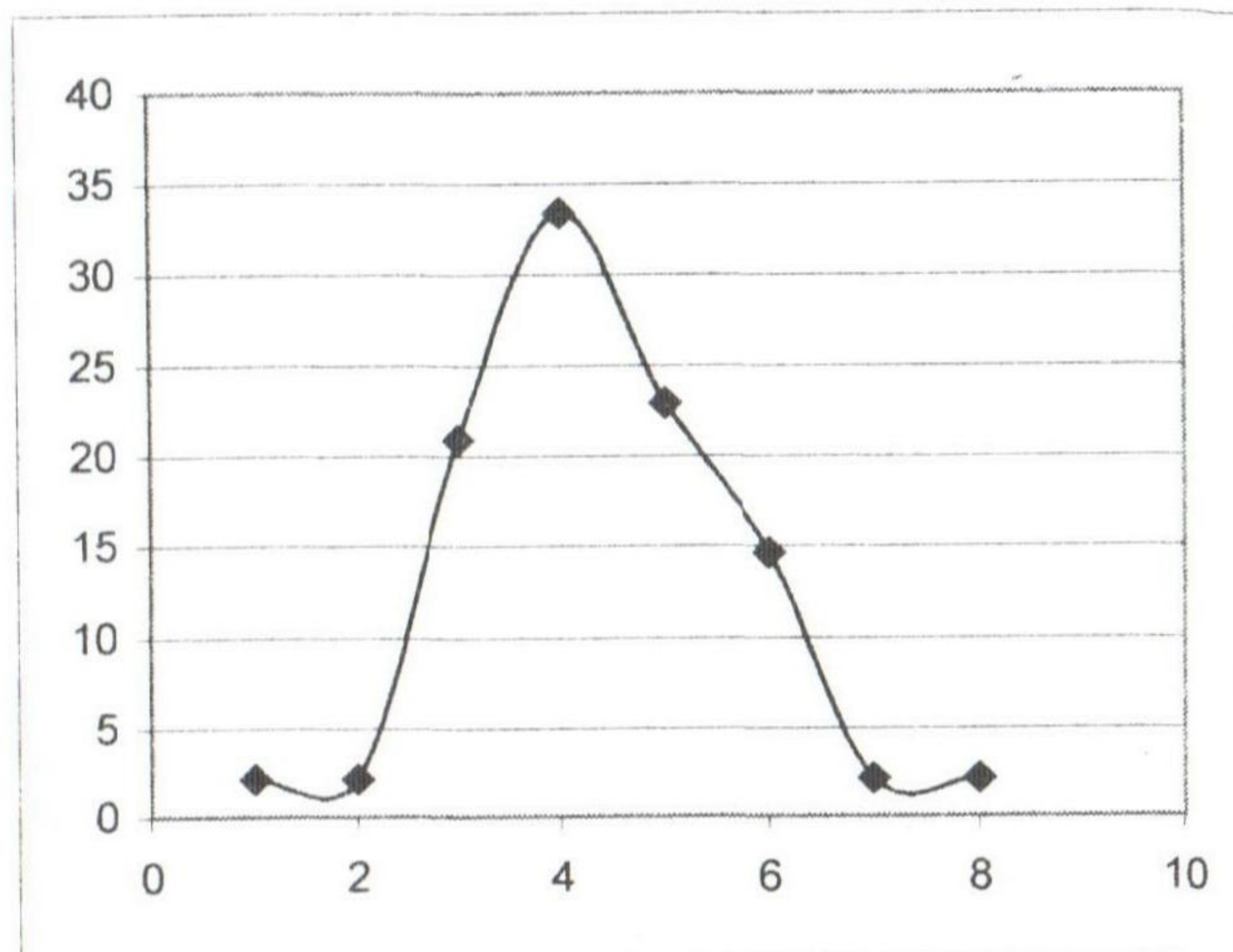
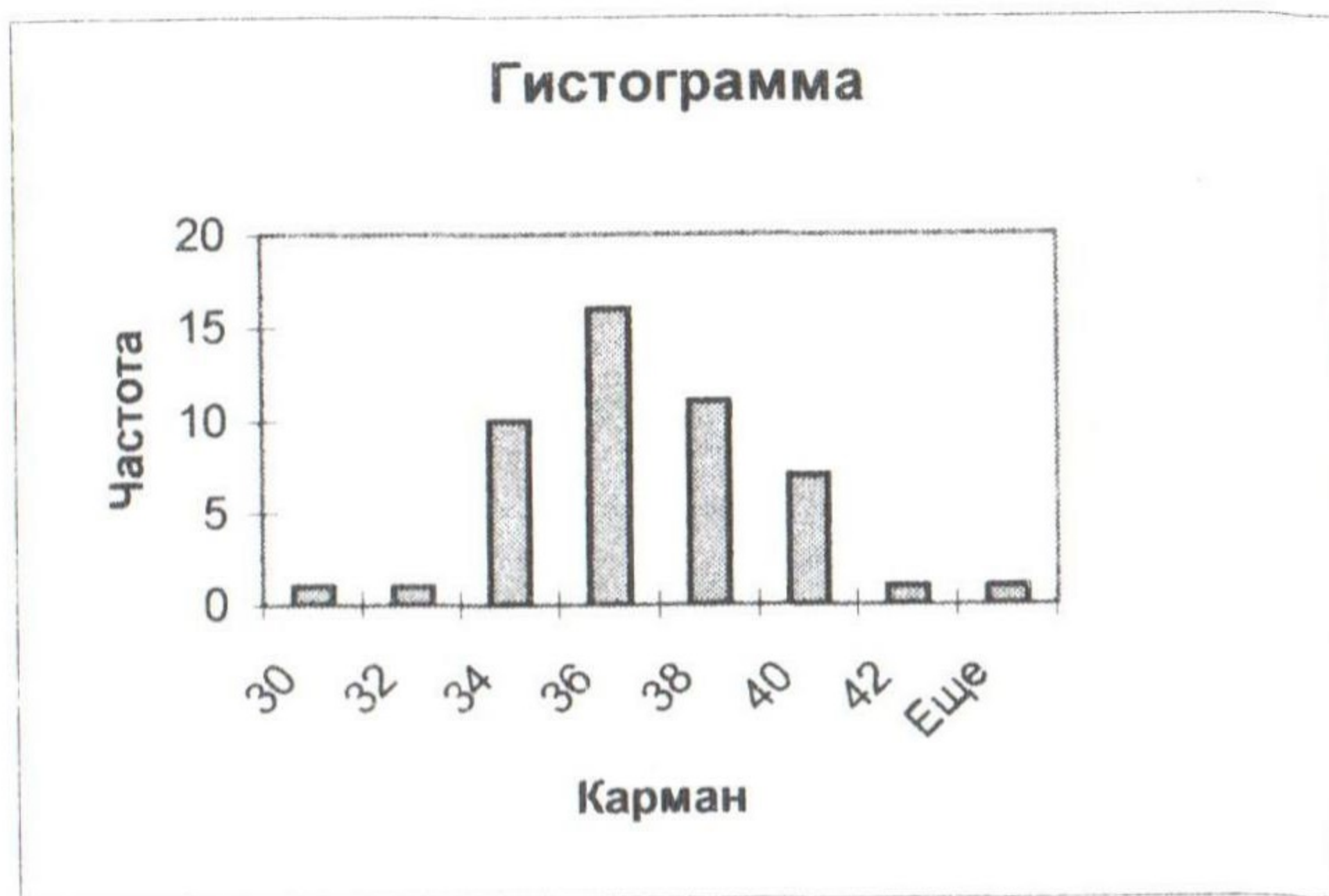


Рис.3. Гистограмма и полигон распределения прочности в 6-й строке.

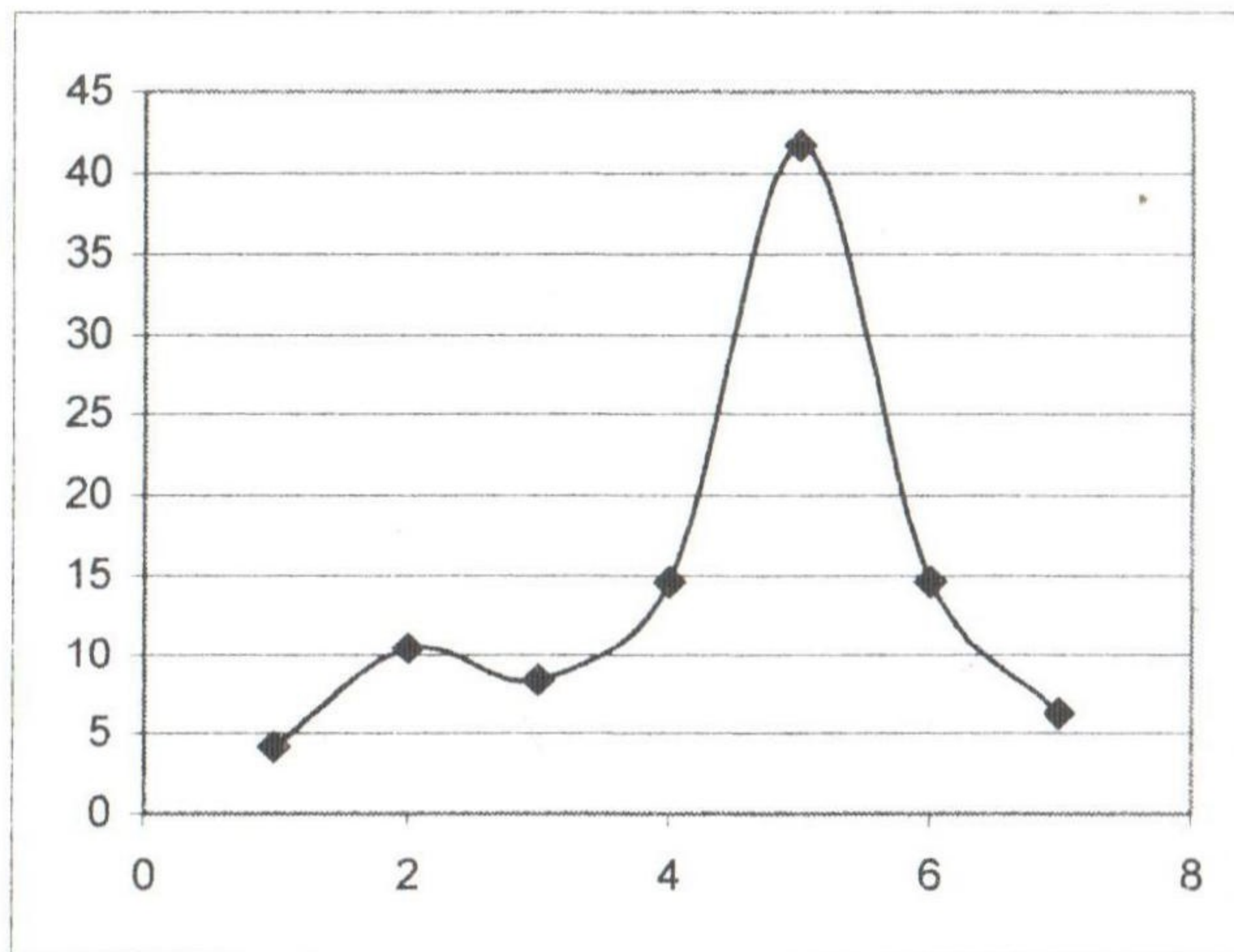
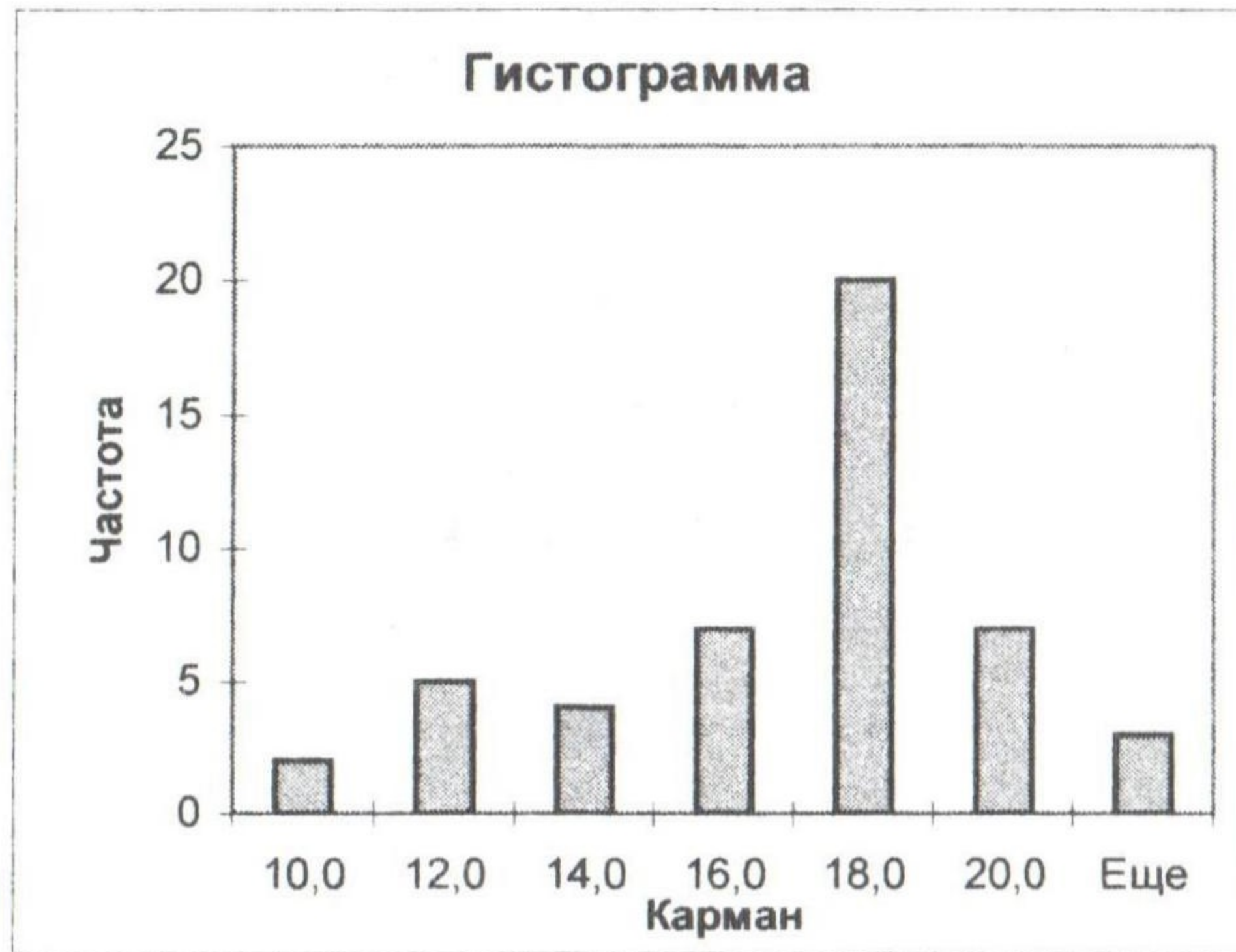


Рис.4. Гистограмма и полигон распределения прочности в 1-й строке

Гистограмма и полигон распределения прочности тротуарной плитки, изображенные на рисунках 3 имеют двустороннюю симметрию. Такие показатели близки к закону нормального распределения, которое свидетельствует о стабильности технологического процесса.



Гистограмма и полигон, изображенные на рисунках 4 имеют ярко выраженную левую асимметрию, что не является положительным явлением. Такая гистограмма свидетельствует об отклонении от нормального закона распределения, причем в худшую для показателя качества тротуарной плитки сторону.

**Таким образом,** подводя итог проведенного анализа можно констатировать, что, изменяя состав бетонной смеси можно в значительной степени регулировать показатель однородности прочности тротуарной плитки, изготовленной методом вибропрессования. Рекомендуемый состав является оптимальным также по показателям обеспечения однородности прочности.

### **Литература:**

1. Семь инструментов качества» в японской экономике. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 88 с. (Качество, экономика, общество. Современные проблемы).
2. ГОСТ 18105-86 Бетоны. Правила контроля прочности.
3. Мартынов В.И., Соколов В.Н., Фесенко Н.В. Математико-статистические методы при назначении составов и контроле качества процесса производства вибропрессованной тротуарной плитки. – в сб. докладов «Дни современного бетона», VI Международная научно-практическая конференция, ООО«Будиндустрия ЛТД», Запорожье, 2004 г., 5 с.