

В.І. Терновий, к.т.н., професор, професор кафедри будівельних технологій, ORCID: 0000-0001-7824-9963

І.М. Уманець, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних технологій

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

О.В. Стоян, Хенкель Баутехнік (Україна), м. Вишгород

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ШТУКАТУРНИХ РОБІТ

Анотація. Визначення параметрів технології влаштування вапняно-піщаної штукатурки Siltek PM-10 потребує великої кількості експериментів для повних планів. Професор В.А. Вознесенський запропонував використовувати експериментально-статистичні моделі (ЕС-моделей), властивості аналізуються в умовах фіксованого значення одного з них $Y = \text{const}$ в залежності від координат ($|x_i| < 1$).

Лабораторні дослідження проводилися за трьохфакторним Д-оптимальним планом з 15 експериментальними значеннями. Технологічні чинники змінювали на наступних рівнях: X_1 – концентрація ґрунтування поверхні ґрунтовою Siltek E-100 – 50 ± 50 %; X_2 – вологість поверхні – $1,4 \pm 0,8$ %; X_3 – рухомість розчинної суміші – 8 ± 1 см. Розрахунок коефіцієнтів поліноміальної моделі виконували методом найменших квадратів за допомогою комп'ютерного програмного комплексу СОМ-РЕХ-99 Одеської державної академії будівництва та архітектури шляхом багатоступеневої математичної обробки. Показники якості цементно-вапняної штукатурки Siltek PM-10 у 28-денному віці прийнято міцність на стиск понад 2,5 МПа, міцність на розтяг при вигині понад 1,2 МПа і міцність зчеплення з основою понад 0,3 МПа.

Оптимальні параметри технології влаштування вапняно-піщаної штукатурки Siltek PM-10 вибирали за трьохмірною діаграмою трьох нормованих міцнісних показників якості. Для цього в трьохфакторну експериментально-статистичну залежність міцності зчеплення штукатурки з поверхню один із чинників залишали на визначених рівнях, інші два змінювали в досліджених інтервалах варіювання. Досягнення штукатуркою нормованих міцнісних показників за вологості основи 0,6 – 2,2 % розчинна суміш повинна мати рухомість 8 см, а основа може бути не ґрунтована або ґрунтована 100 % концентрацією ґрунтівки, а за вологості основи 2,2 % розчинна суміш повинна мати рухомість 8 см з різним ступенем ґрунтування основи.

Ключові слова: експериментально-статистичні моделі; оптимізація; технологічні чинники: технологія влаштування штукатурки.

Актуальність теми.

Створення нових технологій або при управлінні якісними показниками існуючих в залежності від висунутих вимог до показників їх властивостей, виникає необхідність досліджень в ізопараметричних умовах [1]. Визначення експериментальним шляхом впливу технологічних чинників влаштування штукатурки на технологічні властивості опоряджуваного покриття потребує проведення великої кількості поставлених експериментів [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Професор В.А. Вознесенський запропонував використовувати ізопараметричний аналіз (ІПА) на основі експериментально-статистичних моделей (ЕС-моделей). Описані ЕС-моделями, в залежності від координат нормалізованих вхідних факторів ($|x_i| \leq 1$), властивості аналізуються в умовах фіксованого значення одного з них $Y = \text{const}$ [2].

Ізопараметричний аналіз здійснюється за результатами експериментальних даних на двох факторних локальних полях властивостей $Y(x_i, x_j)$, які отримують із k -факторних ЕС-моделей за фіксації інших факторів на необхідних рівнях [3]. Розрахунок коефіцієнтів поліноміальної моделі передбачений за методом найменших квадратів з наступним регресійним аналізом. Використання комплексу ЕС-моделей показників якості штукатурного покриття дозволяє скоротити об'єм експериментальних досліджень, фізичні та матеріальні ресурси без втрати достовірності наукової інформації [4].

Виклад основного матеріалу.

Для проведення лабораторних досліджень був побудований трьохфакторний експеримент, в якому варіювали наступні технологічні чинники: X_1 – кон-

центрація ґрунтування поверхні ґрунтовою Siltek E-100- 50 ± 50 %; X_2 – вологість поверхні – $1,4 \pm 0,8$ %; X_3 – рухомість розчинної суміші – 8 ± 1 см.

Для приготування розчинової суміші у воду дозували цементно-вапняну штукатурну суміш Siltek PM-10 Промислова будівельна група "Ковальська" з розрахунку 0,2 – 0,22 л/кг сухої суміші. Приготування відбувалося на низьких обертах мішалки згідно інструкції виробника.

У рекомендаціях Приватного акціонерного товариства "Термінал-М" до застосування суміші Siltek PM-10 [5] відмічено, що до передштукатурення поверхні необхідно обробити ґрунтовою Siltek E-100 одним або декількома шарами в залежності від водопоглинання поверхні. Концентрацію ґрунтівки 50% на поверхні досягали розбавленням половини об'єму ґрунтівки універсальної SILTEK UNIVERSAL E-100 водою. Концентрацію ґрунтівки 100% отримували ґрунтуючи поверхні ґрунтовою універсальною SILTEK UNIVERSAL E-100.

Вологість поверхні 0,6 % досягали шляхом висушування керамзитобетонних блоків в електричній шафі при 105°C . Вологість поверхні 1,4% отримана за витримання протягом двотижневого терміну керамзитобетонних блоків у приміщення лабораторії. Керамзитобетонні блоки були природної вологості 2,2 %.

Рухомість розчинової сумішей досягалася корегуванням витрати води. Формування зразків розмірами 4 см x 4 см x 16 см і 5 см x 5 см x 1 см на спеціальних трафаретах виконувалася вручну. Твердіння зразків проходило в нормальних лабораторних умовах за температури $18-20^\circ\text{C}$ і вологості 55 %.

Показники міцностей на стиск, розтяг при вигині і зчеплення з основою цементно-вапняної штукатурки Siltek PM-10 у 28-денному віці наведено в табл. 1.

Аналіз і оптимізацію результатів експериментів виконували за допомогою комп'ютерного програмного комплексу COMPEX-99 Одеської державної академії будівництва та архітектури шляхом багатоступеневої математичної обробки.

Вибір варіантів оптимальних параметрів технології влаштування цементно-вапняної штукатурки Siltek PM-10 був виконаний графічним методом за діаграмами, побудованими відповідним ЕС-моделям [9]. На куб були накладені ізолінії, які відображають рівні міцності на розтяг при вигині, міцності на стиск, міцності зчеплення з основою у віці 28-днів, а області, які не задовольняють за критеріями обмежень, були виключені (рис. 1). В якості критеріїв обмеження були прийняті [6, 7]:

- міцність на розтяг при вигині не нижче 1,2 МПа;
- міцність на стиск не нижче 2,5 МПа;
- міцність зчеплення з основою не нижче 0,3 МПа.

Далі із отриманої частини факторного простору, заштрихованої на рис. 1, були відібрані оптимальні параметри технології з врахування бажаних критеріїв – міцність зчеплення з основою не нижче 0,3 МПа.

Оскільки графічний аналіз факторного простору являється хоч і наглядним, але не відрізняється точністю в областях віддалених від граней кубу, нами виконаний вибір оптимальних параметрів технології штукатурення за двомірними діаграмами [10]. В трьохфакторну експериментально-статистична залежність міцності зчеплення штукатурки з поверхнею від технологічних чинників (1). Один із чинників залишали на визначених рівнях, інші два змінювали в досліджених наступних інтервалах варіювання:

$$R_{bt} \text{ (МПа)} = 0,250 + 0,059x_1^2 + 0,028x_2 + 0,044x_2^2 + 0,023x_2x_3 - 0,030x_3 - 0,136x_3^2 \quad (1)$$

Міцність зчеплення штукатурки з основою має необхідне значення (0,3 МПа) за ступенем підготовки основи в інтервалі від 0% до 100% лише за вологості

основи 2,2 % з рухомістю розчинної суміші 8 см (рис. 2, а) за вологості основи 0,6 % та 1,4 % і рухомістю розчинної суміші 8 см у випадку підготовки основи зі ступенем близьким до 0 % та 100 %.

На основі з вологістю 0,6 % необхідна міцність досягається за відсутності ґрунтування або з ґрунтуванням основи ґрунтовкою 100 % концентрації і досягає значень 0,30 – 0,33 МПа лише у випадку використання розчинної суміші рухомістю 7,4 – 8,3 см (Рис. 2, б).

На основі з вологістю 1,4 % необхідна міцність зчеплення досягається за відсутності ґрунтування основи або ж з ґрунтуванням стандартною ґрунтовкою і досягає значень 0,30 – 0,31 МПа за використання розчинної суміші рухомістю 7,7 – 8,2 см.

На основі з вологістю 2,2 % міцність зчеплення з основою від 0,30 МПа до 0,38 МПа досягається за відсутності ґрунтування основи або ж з ґрунтуванням стандартною ґрунтовкою в разі використання розчинної суміші з рухомістю 7,2 – 8,7 см.

Якщо основа оброблена 50 % водним розчином стандартної ґрунтовки, то міцність зчеплення штука-

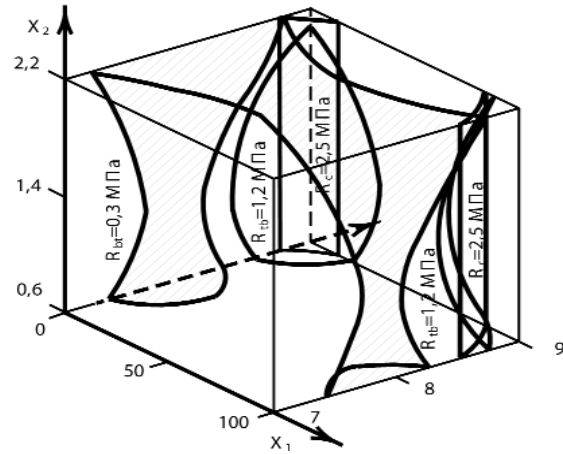


Рис. 1. Вибір варіантів оптимальних параметрів технології влаштування цементно-вапняної штукатурки Siltek PM-10 за трьохмірною діаграмою

Табл. 1 План експерименту в кодових і натуральних значеннях та результати показників міцності

№ п/п	Кодові значення чинників			Натуральні значення чинників			Значення показників міцності		
				X ₁	X ₂	X ₃	на розтяг при вигині (R _{bt}), МПа	на стиск (R _c), МПа	зчеплення з основою (R _{bt}), МПа
	x ₁	x ₂	x ₃	ґрунтування поверхні, %	вологість основи, %	рухомість, см			
1	1	1	1	100	2,2	9	1,15	2,15	0,21
2	-1	1	1	0	2,2	9	1,20	2,56	0,22
3	1	-1	1	100	0,6	9	1,06	2,69	0,08
4	-1	-1	1	0	0,6	9	1,14	2,24	0,17
5	1	1	-1	100	2,2	7	1,34	3,17	0,24
6	-1	1	-1	0	2,2	7	1,68	4,03	0,29
7	1	-1	-1	100	0,6	7	1,48	3,15	0,30
8	-1	-1	-1	0	0,6	7	1,25	4,25	0,23
9	1	0	0	100	1,4	8	1,37	2,87	0,30
10	-1	0	0	0	1,4	8	1,39	2,90	0,33
11	0	1	0	50	2,2	8	1,96	3,94	0,35
12	0	-1	0	50	0,6	8	1,72	3,35	0,25
13	0	0	1	50	1,4	9	1,23	2,34	0,16
14	0	0	-1	50	1,4	7	1,76	4,60	0,08
15	0	0	0	50	1,4	8	1,28	3,55	0,23

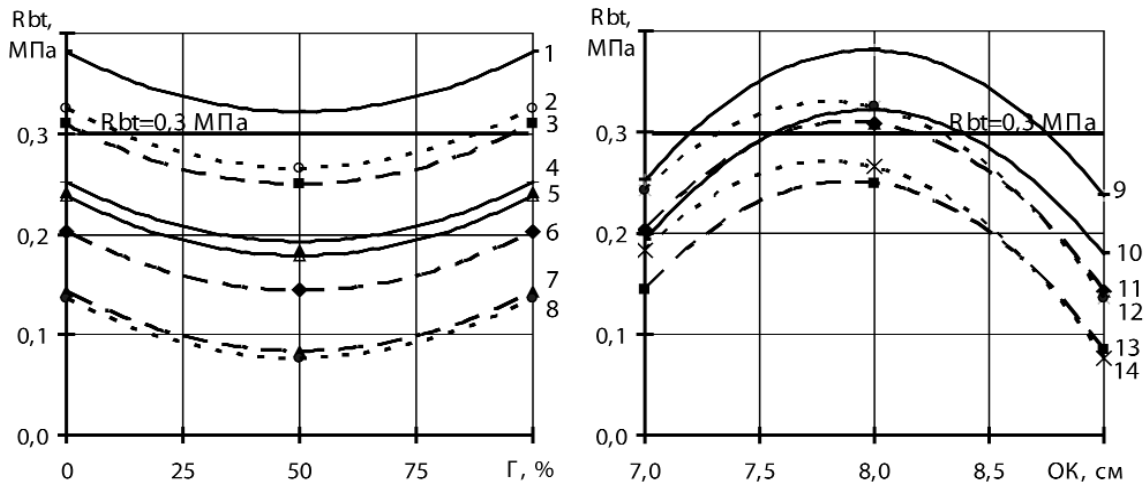


Рис. 2. Залежність міцність зчеплення штукатурки з основою: а – від ступеня ґрунтування основи за рухомості 7 см, 8 см, 9 см; б – від рухомості за ґрунтування основи 0%, 50%, 100%: 1 – $\bar{\omega}_M=2,2\%$; ОК= 8 см; 2 – $\bar{\omega}_M=0,6\%$; ОК= 8 см; 3 – $\bar{\omega}_M=1,4\%$; ОК= 8 см; 4 – $\bar{\omega}_M=2,2\%$; ОК=7 см; 5 – $\bar{\omega}_M=0,6\%$; ОК=7см і $\bar{\omega}_M=2,2\%$; ОК=9 см; 6 – $\bar{\omega}_M=1,4\%$; ОК=7см; 7 – $\bar{\omega}_M=1,4\%$; ОК=9см; 8 – $\bar{\omega}_M=0,6\%$; ОК=9см; 9 – $\Gamma=100\%$ і $\Gamma=0\%$ за $\bar{\omega}_M=2,2\%$; 10 – $\Gamma=50\%$ $\bar{\omega}_M=2,2\%$; 11 – $\Gamma=0\%$ і $\Gamma=100\%$ за $\bar{\omega}_M=1,4\%$; 12 – $\Gamma=0\%$ і $\Gamma=100\%$ за $\bar{\omega}_M=0,6\%$; 13 – $\Gamma=50\%$ $\bar{\omega}_M=1,4\%$; 14 – $\Gamma=50\%$ $\bar{\omega}_M=0,6\%$.

турки з основою буде 0,30 – 0,32 МПа за рухомості розчинної суміші від 7,6 см до 8,3 см.

Висновки: Експериментально встановлено, що для досягнення досліджуваною штукатуркою нормованих міцнісних показників за вологості основи 0,6 – 2,2 % розчинна суміш повинна мати рухомість 8 см,

а основа може бути не ґрунтована або ґрунтована 100 % концентрацією ґрунтівки. Для досягнення досліджуваною штукатуркою нормативних міцнісних показників за вологості основи 2,2 % розчинна суміш повинна мати рухомість 8 см, а основа може мати різну ступінь ґрунтування.

Література

1. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. 2-ое изд. – М., Финансы и статистика, 1981. – 192 с.
2. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном материаловедении // Моделирование и оптимизация композитов: Мат-лы меж. сем. МОК'45. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.
3. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для анализа и оптимизации состава, технологии и свойств композиционных материалов на основе щелочных вяжущих систем / Науч. ред. В.А. Вознесенский, П.В. Кривенко. – ОГАСА, НИИВМ. – К., 1996. – 105 с.
4. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ: Учебник / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков; Под ред. В.А. Вознесенского. – К.: В. шк., 1989. – 328 с.
5. Будівельні суміші: каталог продукції 2013. - К.: SILTEK.- 2013. – 105 с.
6. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні умови. – Чинний з 6.01.2011. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 63 с.
7. ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016. Настанова з виконання робіт із застосуванням сухих будівельних сумішей. – Чинний з 01.04.2017. – К.: УкрНДНЦ, 2017. – 47 с.
8. Уманець І.М. Технологія влаштування санувальної перлітової штукатурки: автореферат дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.23.08 "Технологія та організація промислового та цивільного будівництва" / І.М. Уманець. – К., 2012. – 19 с.
9. Дослідження міцності штукатурки Siltek PM-10 на поверхнях із керамзитобетонних блоків / В. І. Терновий, І. М. Уманець, О. В. Стоян, Н. Р. Антонюк // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – № 60. – С. 285 – 292.
10. Залежність показників міцності штукатурки Siltek PM-10 від технологічних чинників / В. І. Терновий, І. М. Уманець, О. В. Стоян // Нові технології у будівництві. – 2016. – № 31. – С. 72 – 76.

Reference

1. Voznesensky VA Statistical methods of experiment planning in feasibility studies. 2nd ed. – М., Finance and statistics, 1981. – 192 p.
2. Voznesensky VA, Lyashenko TV ES-models in computer science // Modeling and optimization of composites: Mat. seven. IOС'45. – Odessa: Astroprint, 2006. – 116 p.
3. Methodical recommendations for the application of experimental-statistical models for the analysis and optimization of the composition, technology and properties of composite materials based on alkaline binder systems / Nauch. ed. V.A. Voznesensky, PV Krivenko. – OGAS, NIIVM. – К., 1996. – 105 p.
4. Numerical methods of solving construction and technological problems on computers: Textbook / VA. Voznesensky, TV Lyashenko, BL Ogarkov; Ed. V.A. Ascension. – К.: V. Shk., 1989. – 328 p.
5. Construction mixes: product catalog 2013. – К.: SILTEK.- 2013. – 105 p.
6. DSTU B V.2.7-126: 2011. Dry construction mixes modified. General conditions. – Valid from 1/6/2011. – К.: Minregionstroy of Ukraine, 2011. – 63 p.

7. DSTU-N B V.2.6-212: 2016. Instructions for the execution of works using dry building mixtures. – Valid from 04/01/2017. – К.: UkrNDNTS, 2017. – 47 p.
8. Umanets IM Technology of the device of sanitized perlite plaster: abstract of the dissertation. for the sciences. stupa. Cand. tech. Sciences: Special. 05.23.08 "Technology and Organization of Industrial and Civil Construction" / I.M. Decoy. – К., 2012. – 19 p.
9. Investigation of the strength of the Siltek PM-10 plaster on the surfaces of clay concrete blocks / VI Ternovyi, IM Umanets, OV Stoyan, NR Antonyuk // Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. – 2015. – № 60. – P. 285 – 292.
10. Dependence of strength indicators of Siltek PM-10 plaster on technological factors / VI Ternovyi, IM Umanets, OV Stoyan // New technologies in construction. – 2016. – № 31. – P. 72 – 76.

В.И. Терновой, к.т.н., профессор, профессор кафедры строительных технологий, ORCID: 0000-0001-7824-9963
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев
И.М. Уманец к.т.н., доцент, доцент кафедры строительных технологий
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев
А.В. Стоян, Хенкель Баутехник (Украина), г. Вышгород

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ШТУКАТУРНЫХ РАБОТ

Аннотация. Определение параметров технологии устройства известково-песчаной штукатурки Siltek PM-10 требует большого количества экспериментов для полных планов. Профессор В.А. Вознесенский предложил использовать экспериментально-статистические модели (ЕС-моделей), свойства анализируются в условиях фиксированного значения одного из них $Y = const$ в зависимости от координат ($|x_i| < 1$).

Лабораторные исследования проводились по трехфакторная D-оптимальным планом с 15 экспериментальными значениями. Технологические факторы меняли на следующих уровнях: X1 – концентрация грунтовки поверхности грунтовкой Siltek E-100 – $50 \pm 50\%$; X2 – влажность поверхности – $1,4 \pm 0,8\%$; X3 – подвижность растворной смеси – 8 ± 1 см. Расчет коэффициентов полиномиальной модели выполняли методом наименьших квадратов с помощью компьютерного программного комплекса COMPEX-99 Одесской государственной академии строительства и архитектуры путем многоступенчатой математической обработки. Показатели качества цементно-известковой штукатурки Siltek PM-10 в 28-дневном возрасте принято прочность на сжатие более 2,5 МПа, прочность на растяжение при изгибе более 1,2 МПа и прочность сцепления с основанием более 0,3 МПа.

Оптимальные параметры технологии устройства известково-песчаной штукатурки Siltek PM-10 выбрали по трехмерной диаграмме трех нормированных прочностных показателей качества. Для этого в трехфакторная экспериментально-статистическая зависимость прочности сцепления штукатурки с поверхностью один из факторов оставляли на определенных уровнях, другие два меняли в исследованных интервалах варьирования. Достижения штукатуркой нормированных прочностных показателей при влажности основания 0,6 – 2,2% растворная смесь должна иметь подвижность 8 см, а основание может быть не основанная или основанная 100% концентрацией грунтовки, а при влажности основания 2,2% растворная смесь должна иметь подвижность 8 см с разной степенью грунтовки основания.

Ключевые слова: экспериментально-статистические модели; оптимизация; технологические факторы: технология устройства штукатурки.

V.I. Ternovyi, C.T.S., Professor, Professor of the Department of Building Technologies, ORCID: 0000-0001-7824-9963
I.M. Umanets, C.T.S., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Technologies
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv
A.V. Stoyan, Henkel Bautechnik (Ukraine), Vyshgorod

EXPERIMENTAL-STATISTICAL MODELS FOR OPTIMIZING PARAMETERS OF TECHNOLOGY OF PLASTERING WORKS

Abstract. Determining the technology parameters of the Siltek PM-10 lime-sand plaster device requires a large number of experiments for complete plans. Professor V.A. Voznesensky proposed the use of experimental statistical models (EU models), the properties are analyzed under the conditions of a fixed value of one of them $Y = const$ depending on the coordinates ($|x_i| < 1$).

Laboratory studies were carried out according to a three-factor D-optimal plan with 15 experimental values. Technological factors were changed at the following levels: X1 – concentration of the surface primer with Siltek E-100 primer – $50 \pm 50\%$; X2 – surface humidity - $1.4 \pm 0.8\%$; X3 - the mobility of the mortar mixture is 8 ± 1 cm. The coefficients of the polynomial model were calculated using the least squares method using the COMPEX-99 computer program complex of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture through multi-stage mathematical processing. The quality indicators of Siltek PM-10 cement-lime plaster at 28 days of age adopted compressive strength of more than 2.5 MPa, tensile strength in bending of more than 1.2 MPa and adhesion to base more than 0.3 MPa.

The optimal parameters of Siltek PM-10 lime-sand plastering technology were chosen according to the three-dimensional diagram of three normalized strengths. For this purpose in the three-factor experimental-statistical dependence of the adhesion strength of the plaster with the surface one of the factors was left at certain levels, the other two were changed in the studied intervals of variation. Achieving plaster normalized strength values for the moisture content of 0.6 - 2.2% soluble mixture should have a mobility of 8 cm, and the base may not be primed or grounded by 100% concentration of the primer, and at a moisture content of the base 2.2% soluble mixture should have mobility 8 cm with a different degree of priming of the base.

Keywords: experimental-statistical models; optimization; technological factors: plastering technology.