

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-26-32

**\*Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Чернышева Е.В.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: yuriev\_ag@mail.ru

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

**Аннотация.** При определении конструкции пола, выборе материалов и технологии его устройства целесообразно применять системный подход, учитывающий его напряженно-деформируемое состояние. Физическая модель пола промышленного здания в упрощенной форме представляется как двухслойная плита на упругом основании. Компонентами плиты являются покрытие и прослойка, а для основания используется модель Винклера.

Деформирование грунтового основания неотъемлемо от напряженно-деформированного состояния сооружения, проявляющегося через геометрические и механические характеристики, граничные условия.

В качестве материала для покрытия предложен стеклофибробетон, обеспечивающий наряду с прочностью на сжатие, присущей бетону, должное сопротивление трещинообразованию.

Математическая модель базируется на уравнении С. Жермен и винклеровской зависимости. При решении оптимизационной задачи в линейно-упругой постановке используется критерий минимума потенциальной энергии деформации, приводящий к минимуму расхода материалов. Его эффективность подтверждается сопоставлением результатов на вариационной основе с анализом уравнения регрессии. В качестве варьируемых параметров приняты модуль продольной упругости и толщина прослойки. В процедуре расчета применяется конечно-разностный аналог математической модели.

Для полноты исследования был проведен двухфакторный эксперимент, результаты которого достаточно хорошо согласуются с выполненными теоретическими расчетами.

**Ключевые слова:** структура пола промышленного здания, вариационная постановка оптимизационной задачи, уравнение регрессии потенциальной энергии деформации.

**Введение.** В современном строительстве большое внимание уделяют теоретическому обоснованию устройства полов промышленных зданий. Помимо прочности, к ним предъявляются требования эксплуатационного характера: ровность, износостойкость, трещиностойкость.

В одноэтажных зданиях расход бетона на полы достигает иногда 40 % общего его расхода, а само устройство пола по затратам составляет чуть ли не пятую часть общей стоимости возведения здания.

В связи с отмеченными обстоятельствами при разработке конструкции пола, предусматривающей его долговечность и возможности перестановки технологического оборудования, стремятся достичь экономического эффекта за счет рациональной структуры рассматриваемого объекта.

Для объектов производственно-складского назначения в результате обследования полов накопился определенный опыт для системного подхода к их проектированию, технологии устройства и эксплуатации. Каждая из его этапов зависит от современного уровня знаний в этой отрасли.

Неотъемлемой предпосылкой является фактор грунтового основания. Его деформирование сопряжено с напряженно-деформированным со-

стоянием сооружения, составной частью которого является контактирующий пол. Система «сооружение-основание» рассматривается как взаимопроникающее единство конструктивного своеобразия сооружения и грунта. Поэтому весьма ответственным шагом в расчетах структуры пола является выбор физической модели, сохраняющей указанное единство.

В итоге можно сказать, что исследование напряженно-деформированного состояния полов промышленных зданий представляет собой сложную контактную задачу, которой посвящены фундаментальные работы [1–7]. Не менее сложным является инженерный подход к решению соответствующей проектной задачи.

**Методика исследования.** Методология решения контактной задачи для пола промышленного здания базируется на вариационных принципах синтеза в строительной механике, являющихся обобщением известных принципов анализа напряженно-деформированного состояния в механике деформируемого твердого тела. Замечательным свойством вариационных принципов синтеза является установление естественного критерия оптимальности в результате рассмотрения изопериметрической задачи.

**Основная часть.** Представим конструкцию пола в виде двухслойной плиты на упругом осно-

вании. В такого рода физической модели поперечные связи принимаем абсолютно жесткими [8].

В качестве модели грунта принимаем широко используемое в инженерной практике винклеровское основание, прогибы которого  $w$  пропорциональны интенсивности вертикальной поверхностной нагрузки:  $p = kw$ , где  $k$  – коэффициент постели.

В качестве математической модели положено дифференциальное уравнение С. Жермен [9, 10]:

$$D\nabla^2\nabla^2w + kw = p, \quad (1)$$

где  $D$  – цилиндрическая жесткость. Так как коэффициент поперечной деформации  $\nu$  для компонентов пола предполагается изменяющимся в узких пределах, допустимо принять его постоянным по толщине плиты.

Введем обозначения:  $t_1$  – толщина прослойки,  $t_2$  – толщина покрытия (рис. 1),  $E_1$  и  $E_2$  – соответствующие модули продольной упругости.

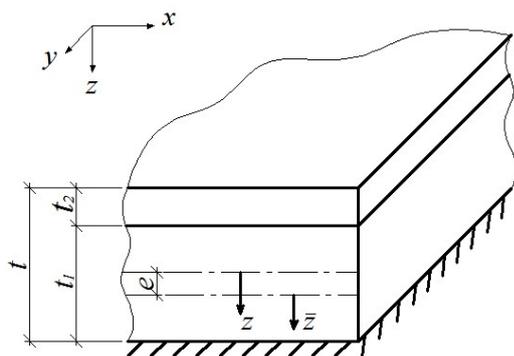


Рис. 1. Двухслойная плита на упругом основании

$$\left(6\alpha^2 + 8\alpha + 6 + \frac{kd^4}{D}\right)w_k + 4(\alpha + 1)(w_i + \alpha w_n + w_l + \alpha w_m) + 2\alpha(w_o + w_q + w_r + w_p) + w_s + \alpha^2 w_v + w_t + \alpha^2 w_u = \frac{p_k d^4}{D}, \quad (7)$$

где  $\alpha = (\Delta y / \Delta x)^2$ .

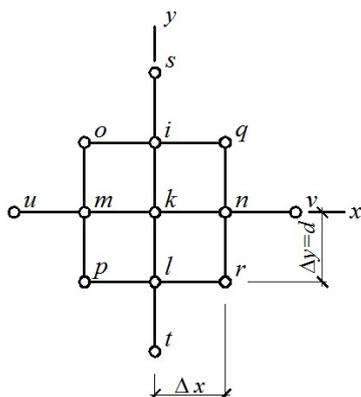


Рис. 2. Сетка метода конечных разностей

В неоднородной плите нейтральная ось смещается при  $E_1 > E_2$  на величину  $e$  в положительном направлении оси  $z$ . Определим ее из условия равенства нулю продольной силы вдоль оси  $x$  ( $y$ ). Используя гипотезу прямых нормалей, запишем условие  $\sum X = 0$  в виде уравнения

$$\frac{k_x + \nu k_y}{1 - \nu^2} \int_{-t/2}^{t/2} E(z)(z - e) dz = 0, \quad (2)$$

где  $k_x(k_y)$  – кривизна волокон, ориентированных на ось  $x$  ( $y$ ), приближенное значение которой не зависит от  $z$ . В итоге получаем

$$e = \left( \int_{-t/2}^{t/2} E(z) z dz \right) / \left( \int_{-t/2}^{t/2} E(z) dz \right). \quad (3)$$

В частном случае (см. рис. 1) имеем

$$e = [(E_1 - E_2)t_1 t_2] / [2(E_1 t_1 + E_2 t_2)]. \quad (4)$$

Цилиндрическая жесткость в общем случае –

$$D = \frac{1}{1 - \nu^2} \int_{-t/2}^{t/2} E(z) z^2 dz, \quad (5)$$

и в частном случае [11]

$$D = \frac{1}{1 - \nu^2} \left\{ E_1 \left[ \frac{t_1^3}{12} + t_1 \left( \frac{t_2}{2} - e \right)^2 \right] + E_2 \left[ \frac{t_2^3}{12} + t_2 \left( \frac{t_1}{2} + e \right)^2 \right] \right\} \quad (6)$$

Конечно-разностный аналог уравнения (1) представляется в виде [12] (рис. 2):

Изгибающие моменты  $M_x$  и  $M_y$  вычисляются по формулам:

$$M_x = \frac{D}{d^2} [w_i + w_l - 2w_k + \alpha \nu (w_n + w_m - 2w_k)], \quad (8)$$

$$M_y = \frac{D}{d^2} [\alpha (w_n + w_m - 2w_k) + \nu (w_i + w_l - 2w_k)] \quad (9)$$

При решении оптимизационной задачи используется энергетический критерий: абсолютный минимум потенциальной энергии системы или дополнительной энергии, являющихся функциями напряженно-деформированного состояния и параметров структуры объекта [13, 14]. При линейно-упругой постановке задачи рас-

смачивается потенциальная энергия деформации, значительная часть которой происходит от изгибающих моментов:

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (M_{xi}k_{yi} + M_{yi}k_{xi}) \Delta s_i, \quad (10)$$

где  $n$  – число внутренних и контурных точек,  $\Delta s_i$  – примыкающая площадь. При этом

$$k_x = \frac{M_y - \nu M_x}{(1 - \nu^2)D}, \quad k_y = \frac{M_x - \nu M_y}{(1 - \nu^2)D}. \quad (11)$$

Для пола промышленного здания в качестве материала для покрытия взят стеклофибробетон, обеспечивающий наряду с прочностью на сжатие, присущей бетону, должное сопротивление трещинообразованию [14–17]. Толщина его  $t_2$  принимается обычно из практических соображений.

Варьируемыми параметрами считаются величины  $E_1$  и  $t_1$ , а в качестве дополнительного условия принимается ограничение:

$$E_1 t_1 = c (= \text{const}). \quad (12)$$

Величина  $c$  назначается с учетом опыта проектирования такого рода объектов.

Рассматривая определенное число вариантов  $E_1$  и  $t_1$ , строим график поверхности  $U(E_1, t_1)$ , позволяющий найти оптимальное решение по энергетическому критерию.

В качестве примера рассмотрим проектирование пола с размерами в плане 6×9 м (рис. 3), шарнирно опертого по контуру и несущего по

всей площади поперечную нагрузку  $p$ , с покрытием толщиной 0,03 м из стеклофибробетона (длина волокон – 35 мм, процент армирования по массе – 4,5, модуль упругости  $E = 20200$  МПа [15]). В качестве прослойки предполагается мелкозернистый бетон. Коэффициент постели  $k = 30$  МН/м<sup>3</sup>. Дополнительное условие:  $E_1 t_1 = 3600$  МН/м.

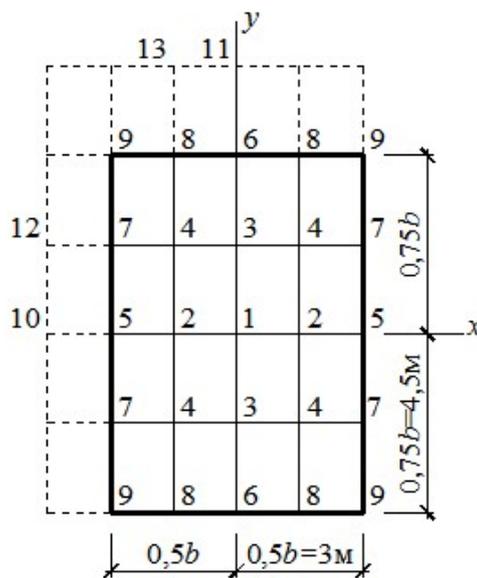


Рис. 3. Расчетная схема плиты пола

В данном случае

$$\alpha = (\Delta y / \Delta x)^2 = 2,25; \quad d = 2,25 \text{ м},$$

и конечно-разностное уравнение получает вид:

$$\left( 54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_k + 13(w_i + 2,25 w_n + w_l + 2,25 w_m) + 4,5(w_o + w_q + w_r + w_p) + w_s + 5,0625 w_v + w_t + 5,0625 w_u = \frac{25,629 p}{D}.$$

Вертикальные перемещения контурных и внеконтурных точек:  $w_5 = w_6 = w_7 = w_8 = w_9 = 0$ ,

$w_{10} = -w_2, w_{11} = -w_3, w_{12} = w_{13} = -w_4$ . Система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \left( 54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_1 + 58,5 w_2 + 26 w_3 + 18 w_4 = \frac{25,629 p}{D}, \\ 29,25 w_1 + \left( 54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_2 + 9 w_3 + 26 w_4 = \frac{25,629 p}{D}, \\ 13 w_1 + 9 w_2 + \left( 54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_3 + 58,5 w_4 = \frac{25,629 p}{D}, \\ 4,5 w_1 + 13 w_2 + 29,25 w_3 + \left( 54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_4 = \frac{25,629 p}{D}. \end{cases} \quad (13)$$

Для численного эксперимента назначаем четыре варианта  $E_1, t_1$  и вычисляем соответствующие величины  $e$  (по формуле 4) и  $D$  (по формуле

6 при  $\nu = 0,2$ ):

$$E_1 = 2,2 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad t_1 = 0,12 \text{ м}; \quad D = 6,255 \cdot 10^6 \text{ Н·м};$$

$$E_1 = 2,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}; t_1 = 0,125 \text{ м}; D = 6,448 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$E_1 = 2,03 \cdot 10^4 \text{ МПа}; t_1 = 0,13 \text{ м}; D = 6,86 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$E_1 = 1,96 \cdot 10^4 \text{ МПа}; t_1 = 0,135 \text{ м}; D = 7,41 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Решая систему уравнений (13) и определяя затем величины  $M_x$  и  $M_y$  по формулам (8) и (9) и кривизны  $k_x, k_y$  по формулам (11), вычисляем потенциальную энергию деформации конструкции  $U$  по формуле (10):

$$U^p = \{15,512 \ 15,669 \ 15,311 \ 16,005\} 10^{-6} p^2$$

Предпочтительным оказался третий вариант сочетания толщины прослойки 0,13 м и бетона с модулем  $2,03 \cdot 10^4$  МПа. На основании принятого критерия его преимущество перед невыгодным,

$$U = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_1^2 + A_4 X_2^2 + A_5 X_1 X_2, \tag{14}$$

где  $A_0, \dots, A_5$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $X_1$  – модуль продольной упругости, МПа;  $X_2$  – толщина, м.

четвертым, вариантом составляет 4,5 %. Абсолютный минимум можно определить, построив поверхность  $U$  по большему числу точек, введя аппроксимирующую функцию  $U(F_1, t_1)$  и решив систему уравнений из условий:  $\partial U(E_1, t_1) / \partial E_1 = 0, \partial U(E_1, t_1) / \partial t_1 = 0$ .

Для полноты исследований был проведен двухфакторный эксперимент. В качестве критерия оптимизации была принята потенциальная энергия деформации. Математическая модель эксперимента представляет собой функциональную зависимость типа  $U = f(X_1, X_2)$ , а ее решение в виде полинома второй степени [18]:

При обработке результатов испытаний было получено уравнение регрессии:

$$U = 15,959 + 5,175 X_1 - 0,0484 X_2 - 0,134 X_1 X_2 - 0,243 X_1^2 - 0,243 X_2^2. \tag{15}$$

Зависимость потенциальной энергии деформации конструкции от исследуемых факторов

описывается поверхностью, представленной на рис. 4.

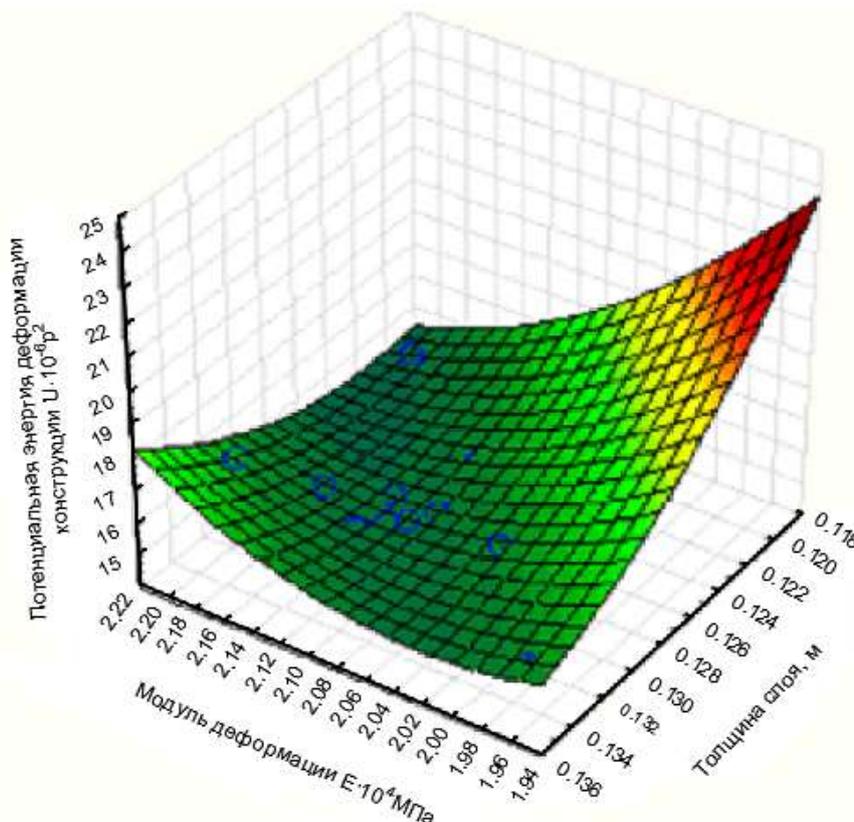


Рис. 4. Зависимость потенциальной энергии деформации плиты от исследуемых факторов

Оптимизируя процесс методом крутого восхождения, накладывая ограничения на влияющие

факторы, получим экстремум  $U$  при

$E = 2,008 \cdot 10^4$  МПа и  $t = 0,1315$  м. При этом потенциальная энергия деформации  $U = 15,157 \cdot 10^{-6} p^2$ , что согласуется с предшествовавшим теоретическим расчетом.

Изложенная методика оптимизации структуры пола нашла практическое использование на промышленном объекте Белгородской области при проведении поверочного расчета по результатам обследования строительных конструкций стеллажей для хранения труб [19, 20].

**Выводы.** Предложенный способ определения оптимальной линейно-упругой слоистой структуры пола промышленного здания проистекает из критерия минимума потенциальной энергии деформации, приводящего к минимуму расхода материалов. Его эффективность подтверждается сопоставлением результатов на вариационной основе с анализом уравнения регрессии. Рациональным оказалось использование конечно-разностного аналога дифференциального уравнения плиты на упругом основании, являющегося математической моделью пола промышленного здания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов-Посадов М.И. Балки и плиты на упругом основании. М.: Стройиздат, 1949. 412 с.
2. Корнев Б.Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1954. 232 с.
3. Cheung M.S. A simplified finite element solution for the plates on elastic foundation // Computers Structures: Pergamon Press. Great Britain, 1978. Vol. 8. Pp. 139–145.
4. Datta S. Large deflection of a circular plate of elastic foundation under a concept rated load at the center // Trans ASME, 1975. E42. № 2. Pp. 503–505.
5. Heinisuo M.T., Miettinen K.A. Linear contact between plates and unilateral elastic supports // Mech. Struct. And Mach. 1989. Vol. 17. № 3. Pp. 385–414.
6. Saygun A., Trupia A.I., Eren I. Analysis of plates on elastic foundation // Stud. e ric. 1988. № 10. Pp. 375–404.
7. Sokot-Supel J. Elastoplastic circular plates resting unilaterally on elastic subgrade // Mech. Struct. And Mach. 1989. Vol. 16. № 3. Pp. 335–357.
8. Юрьев А.Г. Расчет пола промышленного здания на силовые воздействия // Строительство – 2002: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ, 2002. С.21–22.
9. Справочник по теории упругости / Под ред. П.М. Варвака и А.Ф. Рябова. Киев: Изд-во «Будівельник», 1974. 418 с.
10. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С.М. Пластинки и оболочки. М.: Высшая школа, 1968. 412 с.
11. Кончковский З. Плиты: статические расчеты. М.: Стройиздат, 1984. 460 с.
12. Математическая Энциклопедия. В 5 т. / Под ред. И.М. Виноградова. М.: Советская Энциклопедия, Т.2. 1979. 1104 с.
13. Юрьев А.Г. Вариационные принципы строительной механики. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 90 с.
14. Мэттьюс Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М.: Изд-во «Техносфера», 2004. 408 с.
15. Панченко Л.А. Строительные конструкции с волокнистыми композитами. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 184 с.
16. Панченко Л.А. Рационализация использования стеклофибробетона в строительстве зданий и инженерных коммуникаций // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова, 2014. № 2. С. 34–36.
17. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А. Обследование железобетонных резервуаров для хранения чистой воды // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова, 2017. № 1. С. 47–51. DOI: 10.12737/23295
18. Математическая Энциклопедия. В 5 т. / Под ред. И.М. Виноградова. М.: Советская Энциклопедия, Т.4. 1984. 1216 стб.
19. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В. Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2017. № 10. С. 94–97. DOI: 10.12737/article\_59 cd0c5e3177f3.90056458
20. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N. Assessment load capacity in floor constructions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, Iss. 2. 022001. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022001.

#### Информация об авторах

**Юрьев Александр Гаврилович**, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: yuriev\_ag@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Панченко Лариса Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: panchenko.bstu@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Серых Инна Робертовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: seryh.ir@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Чернышева Елена Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: bellena\_74@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 29.05.2020

© Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Чернышева Е.В. 2020

*\*Yuriev A.G., Panchenko L.A., Serykh I.R., Chernysheva E.V.  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov  
\*E-mail: yuriev\_ag@mail.ru*

## OPTIMIZATION OF THE FLOOR STRUCTURE OF AN INDUSTRIAL BUILDING

**Abstract.** *When determining the design of the floor, choosing materials and technology of its device, it is advisable to apply a systematic approach that takes into account its stress-strain state. The physical model of the floor of an industrial building in a simplified form is represented as a two-layer slab on an elastic base. The deformation of the ground base is inherent in the stress-strain state of the structure, which is manifested through geometric and mechanical characteristics, boundary conditions., glass fiber concrete is proposed as a coating material. It provides the compressive strength inherent in concrete and a proper crack resistance. The mathematical model is based on the S. Germain equation and the Winkler dependence. When solving the optimization problem in a linear elastic formulation, the criterion of the minimum potential energy of deformation is used, which leads to a minimum of material consumption. Its effectiveness is confirmed by comparing the results on a variational basis with the analysis of the regression equation. The modulus of longitudinal elasticity and the thickness of the layer are accepted as variable parameters. The calculation procedure uses a finite-difference analog of the mathematical model. A two-factor experiment is conducted to complete the study, the results of which are in good agreement with the theoretical calculations performed.*

**Keywords:** *floor structure of an industrial building, variational statement of the optimization problem, regression equation of the potential energy of deformation.*

### REFERENCES

1. Gorbunov-Posadov M.I. Beams and plates on elastic base [Balki i plity` na uprugom osnovanii]. M.: Strojizdat. 1949. 412 p. (rus)
2. Korenev B.G. Issues of calculation of beams and plates on elastic base [Voprosy` rascheta balok i plit na uprugom osnovanii]. M.: Gosstrojizdat. 1954. 232 p. (rus)
3. Cheung M.S. A simplified finite element solution for the plates on elastic foundation. Computers Structures: Pergamon Press. Great Britain, 1978. Vol. 8. Pp. 139–145.
4. Datta S. Large deflection of a circular plate of elastic foundation under a center rated load at the center. Trans ASME, 1975. E42. No. 2. Pp. 503–505.
5. Heinisuo M.T., Miettinen K.A. Linear contact between plates and unilateral elastic supports. Mech. Struct. And Mach. 1989. Vol. 17. No. 3. Pp. 385–414.
6. Saygun A., Trupia A.I., Eren I. Analysis of plates on elastic foundation. Stud. e ric. 1988. No. 10. Pp. 375–404.
7. Sokot-Supel J. Elastoplastic circular plates resting unilaterally on elastic subgrade. Mech. Struct. And Mach. 1989. Vol. 16. No. 3. Pp. 335–357.
8. Yuriev A.G. Calculation of the floor of the industrial building on the force impact [Raschet pola promy`shlennogo zdaniya na silovy`e vozdeystviya]. Construction – 2002: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Rostov-na-Donu: Publishing house RGSU. 2002. Pp. 21–22. (rus)
9. Handbook on elasticity theory [Spravochnik po teorii uprugosti]. Under ed. P.M. Varvak and A.F. Ryabov. Kiev: Budivelnik. 1974. 418 p. (rus)
10. Tymoshenko S.P., Vojnovsky-Krieger S.M. Plates and shells [Plastinki i obolochki]. M.: The higher school. 1968. 412 p. (rus)
11. Konchkovsky Z. Plates: static calculations [Plity`: staticheskie raschety`]. M.: Strojizdat. 1984. 460 p. (rus)
12. Mathematical Encyclopedia [Matematicheskaya E`nciklopediya]. In 5 vol. Under ed. I.M. Vinogradov. M.: Soviet Encyclopedia. Vol. 2. 1979. 1104. (rus)

13. Yuriev A.G. Variational principles of structure mechanics [Variacionny`e principy` stroitel`noj mexaniki]. Belgorod: Publishing house of BELGTASM. 2002. 90 p. (rus)

14. Matthews F., Rawlings R. Composite Materials. Mechanics and technology [Kompozitny`e materialy`. Mexanika i texnologiya]. M.: Tekhnosfera publishing house. 2004. 408 p. (rus)

15. Panchenko L.A. Building structures with fibrous composites [Stroitel`ny`e konstrukcii s voloknisty`mi kompozitami]. Belgorod: BGTU publishing house. 2013. 184 p. (rus)

16. Panchenko L.A. Rationalization of the use of fiberglass concrete in the construction of buildings and engineering communications [Racionalizaciya ispol`zovaniya steklofibrobeta v stroitel`stve zdaniy i inzhenerny`x kommunikacij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 2. Pp. 34–36. (rus)

17. Smolyago G.A., Drokin S.V., Belousov A.P., Pushkin S.A. Survey of tanks for storage of

clean water [Obsledovanie zhelezobetonny`x rezervuarov dlya xraneniya chistoj vody`. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 47–51. DOI: 10.12737/23295 (rus)

18. Mathematical Encyclopedia [Matematicheskaya E`nciklopediya]. In 5 vol. Under ed. I.M. Vinogradov. M.: Soviet Encyclopedia. Vol. 4. 1979. 1104 stb. (rus)

19. Degtyar A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V. Residual service life of buildings and structures [Ostatochny`j resurs konstrukcij zdaniy i sooruzhenij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No 10. Pp. 94–97. DOI: 10.12737/article\_59cd0c5e3177f3.90056458 (rus)

20. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N. Assessment load capacity in floor constructions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, Iss. 2. 022001. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022001.

#### *Information about the authors*

**Yuriev, Alexander G.** DSc, Professor. E-mail: yuriev\_ag@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Panchenko, Larisa A.** PhD, Assistant professor. E-mail: inna\_ad@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Serykh, Inna R.** PhD, Assistant professor. E-mail: inna\_ad@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Chernysheva, Elena V.** PhD, Assistant professor. E-mail: bellena\_74@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 29.05.2020*

#### **Для цитирования:**

Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Чернышева Е.В. Строкова В.В., Оптимизация структуры пола промышленного здания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 26–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-26-32

#### **For citation:**

Yuriev A.G., Panchenko L.A., Serykh I.R., Chernysheva E.V. Optimization of the floor structure of an industrial building. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 26–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-26-32