

УДК 621.131.43

## ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

**А.М. Бурлакова, В.В. Филатов**

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: vshalin@vlsu.ru

*Значительная часть грунтов относится к категории слабых, величина модуля деформации которых не превышает 5 МПа. Поэтому несущая способность таких грунтов невелика и они нередко испытывают сильную деформацию под действием веса, возведённых на них зданий и сооружений, а также от действия статической нагрузки, создаваемой различными формами техногенного рельефа. В работе приведены результаты изучения зависимости критического усилия и глубины его максимального проявления для различных форм техногенного рельефа, силовые эпюры которых описаны треугольниками различных видов. В качестве модели грунтовой среды взято однородное полупространство. Построены номограммы зависимости критического усилия и максимальной глубины его проявления от физико-механических свойств грунта.*

**Ключевые слова:** *слабая грунтовая среда, техногенные формы рельефа, статическая нагрузка, критическая нагрузка.*

## ASSESSMENT OF THE CRITICAL STATE OF THE SOIL ENVIRONMENT UNDER THE INFLUENCE OF MAN-MADE LANDFORMS

**A. Burlakova, V. Filatov**

Vladimir state University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, Russian Federation  
e-mail: vshalin@vlsu.ru

*A significant part of the soil belongs to the category of weak, the value of the deformation modulus does not exceed 5 MPa. Therefore, the load-bearing capacity of such soils is small and they often experience severe deformation under the influence of weight, buildings and structures erected on them, as well as from the action of static load created by various forms of man-made relief. The paper presents the results of studying the dependence of the critical force and the depth of its maximum manifestation for various forms of technogenic relief, the force diagrams of which are described by triangles of different types. A homogeneous half-space is taken as a model of the soil medium. Nomograms of the dependence of the critical force and the maximum depth of its manifestation on the physical and mechanical properties of the soil are constructed.*

**Keywords:** *weak soil environment, technogenic relief forms, static load, critical load.*

**Введение.** Расчётная схема во всех рассмотренных ниже случаях, представляет собой однородное полупространство с распределённой нагрузкой  $P$ . Полупространство находится в гидростатическом напряжённом состоянии, при котором можно принять  $b_x = b_y = \gamma z$ , где  $b_x$  и  $b_y$  – начальные значения горизонтальных составляющих напряжения;  $\gamma z$  – величина нагрузки от веса грунта на глубине  $z$ . Напряжённое состояние в полупространстве на глубине  $z$  создаётся весом полупространства и влиянием статической нагрузки, обусловленной техногенными формами рельефа. Задача заключается в определении такой величины критической нагрузки  $P_{кр}$ , при которой область предельного равновесия достигнет глубины  $Z_{max}$ .

**Основная часть.** Рассматриваются частные случаи статической нагрузки.

Статическая нагрузка, эпюра которой описывается равнобедренным треугольником (рисунок 1).

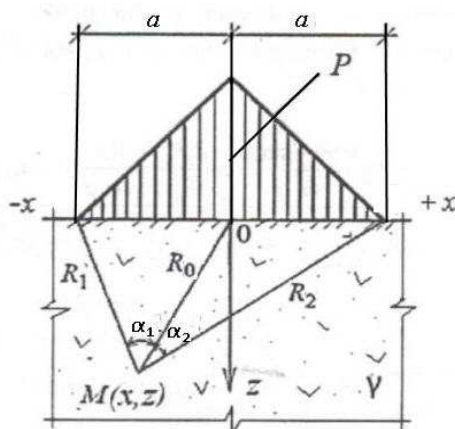


Рисунок 1. – Модель однородной грунтовой среды и эпюра внешней нагрузки

Главные напряжения  $b_1$  и  $b_2$  для статической нагрузки в форме равнобедренного треугольника равны [1]:

$$\sigma_1 = \frac{P}{\pi a} [a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2) - z \ln \rho] + \frac{Pz}{\pi a} \sqrt{(\ln \rho)^2 + (\alpha_1 - \alpha_2)^2} + \gamma z; \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{\pi a} [a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2) - z \ln \rho] - \frac{Pz}{\pi a} \sqrt{(\ln \rho)^2 + (\alpha_1 - \alpha_2)^2} + \gamma z. \quad (2)$$

где  $2a$  – длина базы действия нагрузки  $P(x)$ ;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  углы видимости базы действия нагрузки из произвольной точки  $M(x, z)$ ,  $\rho = \frac{R_1 R_2}{R_0^2}$ .

Условие предельного равновесия имеет вид [2]

$$\begin{aligned} \sigma_1 - \sigma_2 \\ = 2 \sin \varphi \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + C \operatorname{ctg} \varphi \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $C \operatorname{ctg} \varphi$  – давление связности;  $C$  – удельное сцепление связного грунта;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта.

Рассматривая совместно выражения (1), (2) и (3) и выполняя очевидные преобразования, получим выражение для координаты  $z$

$$z = \frac{[a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2)] + \frac{\pi a C}{P} \operatorname{ctg} \varphi}{\frac{1}{\sin \varphi} \sqrt{(\ln \rho)^2 + (\alpha_1 - \alpha_2)^2} - \frac{\pi a \gamma}{P} + \ln \rho} \quad (4)$$

Исследуя функцию (4) на экстремум по переменным  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , определим при найденных значениях этих углов наибольшую координату  $z_{\max}$ , при которой развивается критическое усилие  $P_{\text{кр}}$ ,

$$z_{\max} = \frac{[a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2)] + \frac{\pi a C}{P} \operatorname{ctg} \varphi}{\frac{0,96 - \sin \varphi}{\sin \varphi} \ln \rho + \frac{0,4(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin \varphi} - \frac{\pi a \gamma}{P}} \quad (5)$$

Полагаем, что этому значению координаты  $z_{\max}$  соответствует критическая нагрузка  $P_{\text{кр}}$ . Для вычисления критической нагрузки  $P_{\text{кр}}$  используем уравнение [1]

$$z_{\max} = \frac{0,88 P B}{C_z} \quad (6)$$

где  $C_z = E/(1 - \nu^2)$  – коэффициент упругого полупространства;  $B=2a$  – длина базы действия нагрузки;  $E$  – модуль деформации;  $\nu$  – коэффициент Пуассона; ( $E$  и  $\nu$  принимаются постоянными для полупространства).

Приравнивая правые части выражений (5) и (6), получим уравнение

$$MP^2 + NP + L = 0, \quad (7)$$

где 
$$M = 1,76 \left[ \frac{0,96 - \sin \varphi}{\sin \varphi} \ln \rho + \frac{0,4(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin \varphi} \right];$$

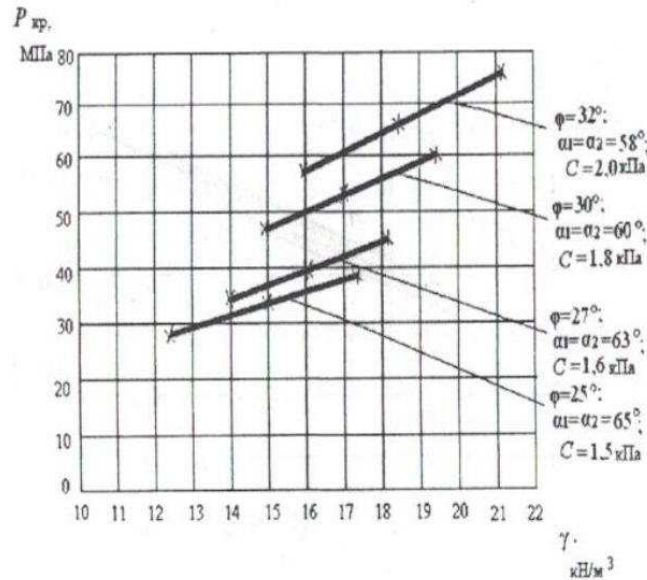
$$N = - \left\{ C_z \left[ (\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{x}{a} (\alpha_1 - \alpha_2) \right] + 1,76 \pi a \gamma \right\};$$

$$L = -\pi C_z C \operatorname{ctg} \varphi.$$

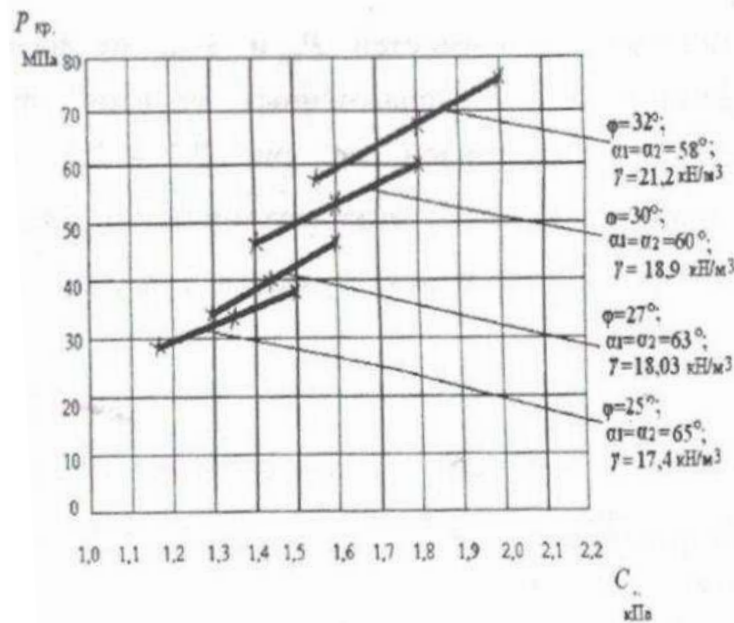
Решая квадратное уравнение (7), найдем формулу для вычисления критической нагрузки [3]

$$P_{\text{кр}} = \frac{N}{2M} \left\{ - \left[ 1 + \left( 1 - \frac{4ML}{N^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}. \quad (8)$$

По формулам (5) и (8) были вычислены зависимости критической нагрузки  $P_{кр}$  и глубины её максимального проявления  $Z_{max}$  для различных значений физико-механических характеристик. Результаты вычислений приведены на рисунках 2, 3.



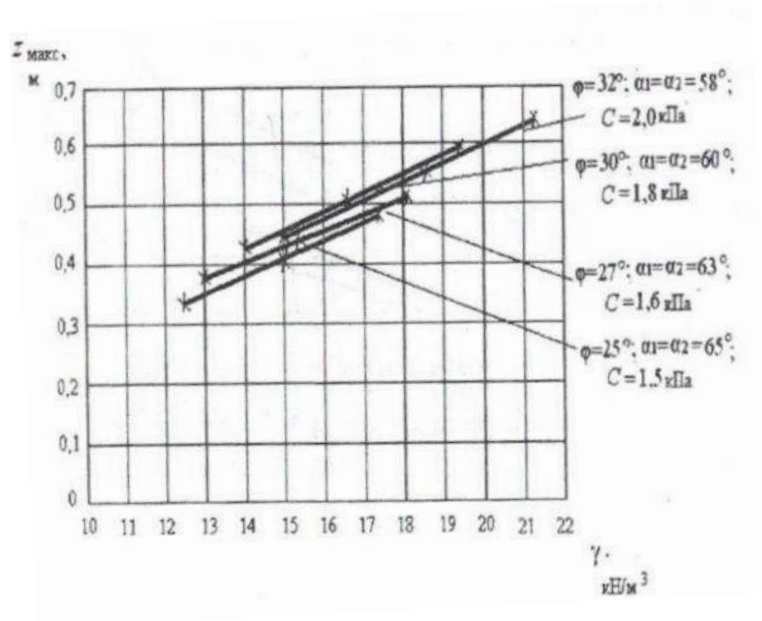
а



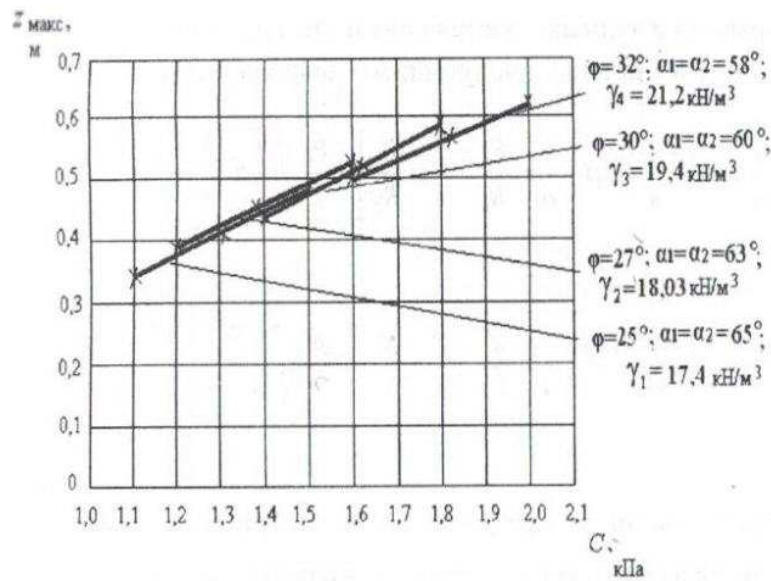
б

а – от удельного веса грунта  $\gamma$  при постоянных значениях сцепления  $C$ ;  
б – от удельного сцепления грунта  $C$  при постоянных значениях удельного веса грунта  $\gamma$

Рисунок 2. – Зависимость критической нагрузки  $P_{кр}$



а



б

а – от удельного веса грунта  $\gamma$  при постоянных значениях сцепления  $C$ ;  
 б – удельного сцепления грунта  $C$  при постоянных значениях удельного

Рисунок 3. – Зависимость координаты  $z_{max}$

**Заключение.** Из результатов расчётов, выполненных для указанной модели, а также результаты расчётов по другим моделям для внешних нагрузок, эпюры которых описываются различными зависимостями [3] следует, что предельное состояние грунта от действия статической нагрузки развивается на определённой глубине и зависит от физико-механических грунта и характера нагрузки:

–  $P_{кр}$  и  $z_{max}$  увеличиваются с увеличением физико-механических характеристик грунтов квазилинейно во всех исследованных случаях (для всех моделей), что свидетельствует об увеличении несущей способности грунта;

– для зависимости  $P_{кр}(\gamma)$  рост критического усилия происходит не только с увеличением  $\gamma$ , но также с увеличением  $C$  и  $\phi$ ;

– для зависимости  $P_{кр}(C)$  увеличение критического усилия происходит в основном за счёт роста удельного сцепления  $C$ ; за счёт увеличения  $\phi$  и  $\gamma$  критическое усилие увеличивается незначительно (примерно на 8%)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов, Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии: учебн-метод. пособие / Н.Н. Маслов. – М.: Высшая школа, 1968. – 629 с.
2. Цитович, Н.А. Механика грунтов: учебное пособие / Н.А. Цитович. – 4-е изд. – М.: Высшая школа, 1983. – 281 с.
3. Кравченко, Т.И. Проблемы оценки критического состояния слабой грунтовой среды под инженерными сооружениями / Т.И. Кравченко, В.В. Филатов, К.А. Дубов. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. – 344 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020



2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

---

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>