

которые не учитывают изменения темпа относительного снижения длительной прочности древесины от вида напряженного состояния.

Следует отметить, что приведенные в данной статье подходы по уточнению моделей длительной прочности древесины могут быть использованы и для определения расчетных значений прочности плитных материалов на основе древесины, как ОСП, ЦСП, МДФ, LVL, CLT, ГСП и ГВЛ.

Заключение. Проведенный анализ результатов исследований [5–13] показал, что используемые модели длительной прочности древесины для определения расчетных значений прочности древесины, в частности значений коэффициентов K_{mod} и M_{del} , не охватывают все виды напряженного состояния, в которых могут находиться элементы деревянных конструкций. Для совершенствования существующих моделей длительной прочности древесины необходимо проведение целого комплекса экспериментальных исследований по выявлению закономерностей изменения темпа относительного снижения длительной прочности древесины от вида напряженного состояния. Приведенная в [1–3] методика по определению расчетных значений прочности древесины приемлема для случаев растяжения, скалывания или сжатия вдоль волокон.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1995-1-1-2009 (02250). – Введ. 01.01.10. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 110 с.
2. Деревянные конструкции. Нормы проектирования : ТКП 45-5.05-146 -2009 (02250). – Введ. 01.01.10. – Минск : Минстройархитектуры, 2009. – 72 с.

3. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 : СП 64.13330.2011. – Москва, 2011. – 88 с.
4. Журков, С.Н. Проблема прочности твердых тел // Вестн. АН СССР. – 1957. – Вып. 11. – С. 78–82.
5. Иванов, Ю.М. Длительная прочность древесины // Лесн. журн. – 1972. – № 4. – С. 76–82.
6. Иванов, Ю.М. Длительная прочность древесины при растяжении поперек волокон / Ю.М. Иванов, Ю.Ю. Славик // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 10 – С. 22–26.
7. Орлович, Р.Б. О применении критериев длительной прочности в расчетах деревянных конструкций / Р.Б. Орлович, А.Я. Найчук // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 5 – С. 15–19.
8. Иванов, Ю.М. Надежность деревянных конструкций и темп накопления повреждений в материале / Ю.М. Иванов, А.В. Мельчиков, Ю.Ю. Славик // Изв. вузов. Строительство. – 1992. – № 3 – С. 16–20.
9. Белянкин, Ф.П. Деформативность и сопротивляемость древесины / Ф.П. Белянкин, В.Ф. Яценко. – К.: Из-во АН УССР, 1957. – 86 с.
10. Леонтьев, Н.Л. Длительное сопротивление древесины. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1957. – 132 с.
11. Gerhards, C.C. Time-related effects on wood strength: a linear cumulative damage theory. Wood Sci 1979;11(3). – 139–44 p.
12. Barrett, J.D. Duration of load and probability of failure of wood. Part 1. Modelling creep rupture / J.D. Barrett, R.O. Foschi – Can. J. of Civil Engineering. – 1978. – Vol. 5. – N 4. – 505–514 p.
13. Foschi, R.O. Reliability-based design of wood structures. Structural research series / R.O. Foschi, B.R. Folz, F.Z. Yao // Rep. no. 34, Dep. of Civil Eng., Univ. of British Columbia, Vancouver, Canada; 1989.

Материал поступил в редакцию 29.01.2018

NAYCHUK A.Ya. About some approaches of definition of calculated values of durability of wood and materials on its basis

To be provided the analysis of researches in the field of the long durability of wood, destruction models which are the basis for definition of calculated values of wood are considered. The main objectives and ways of their decision on improvement of a technique of definition of calculated values and also models of long durability depending on a type of tension are formulated.

УДК 624.072.21.7

Босаков С.В., Козунова О.В.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАСАТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ПЛАСТИН ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ

Введение. Одним из приближенных способов расчета строительных конструкций является вариационно-разностный метод (ВРМ). Сущность ВРМ, реализующего вариационный принцип Лагранжа с помощью метода конечных разностей, заключается в сведении задачи минимизации функционала полной потенциальной энергии, являющейся квадратичной функцией относительно перемещений, к задаче минимизации функции многих переменных, отнесенных к узлам конечно-разностной сетки [1].

Следует подчеркнуть достоинства вариационно-разностного метода: простота математической формулировки задачи; ясный физический смысл используемого функционала; автоматическое выполнение уравнений равновесия и статических граничных условий; возможность использования метода для расчета тел сложной формы, в том числе неоднородных по деформационно-прочностным характеристикам материалов; нелинейные расчеты сводятся к решению системы линейных алгебраических уравнений, для реализации которой существует достаточно надежный математический аппарат линейной алгебры.

У ряда научных работников в области нелинейных расчетов строительных конструкций, бытует мнение о невозможности использования касательного модуля при определении плотности энергии в расчетах конструкций вариационно-разностным методом.

Ниже численно показана на двух тестовых примерах для нагруженных пластинок ошибочность такого мнения.

Пример 1. На рис. 1 изображена прямоугольная пластина, находящаяся в условиях однородного плоского напряженного состояния под действием равномерной сжимающей нагрузки интенсивностью p (Н/м²).

Зависимость между интенсивностями напряжений и деформаций примем в виде [2]

$$\sigma_i = \sigma_u \operatorname{th} \left(\frac{E_0}{\sigma_u} \varepsilon_i \right), \quad (1)$$

где σ_i , ε_i – интенсивности напряжений и деформаций [3];

σ_u , E_0 – предел прочности и начальный модуль упругости материала пластинки.

Босаков Сергей Викторович, д.т.н., профессор, профессор кафедры строительной механики Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220014, г. Минск, пр. Независимости, 150.

Козунова О.В., к.т.н., доцент кафедры промышленного гражданского строительства Белорусского государственного университета транспорта.

Беларусь, БелГУТ, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

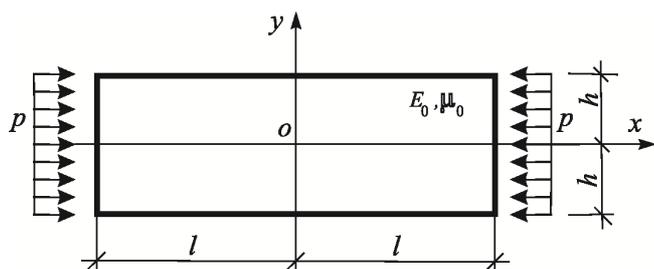


Рисунок 1 – Расчетная модель нагруженной пластинки

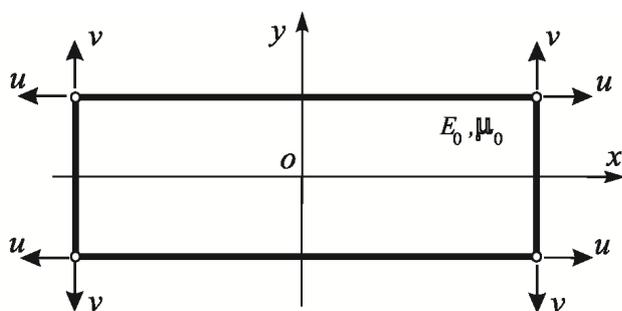


Рисунок 2 – Принятые неизвестные перемещения

Зависимость между интенсивностями напряжений и деформаций в виде гиперболического тангенса (1) изображена на рис. 3.

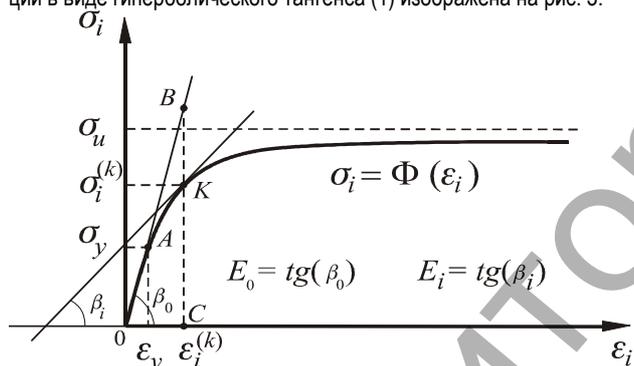


Рисунок 3 – Гиперболический тангенс

При расчете пластинки коэффициент Пуассона будем считать постоянным [3].

Согласно третьей гипотезе малых упругопластических деформаций [4] в случае однородного напряженного состояния справедливы следующие равенства

$$\sigma_i = \sigma_x = p, \quad \epsilon_i = \epsilon_x = \frac{p}{E}, \quad \epsilon_y = -\mu \cdot \epsilon_x. \quad (2)$$

Если считать плотность энергии деформации (удельную энергию) по формуле

$$d\mathcal{E} = \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon, \quad (3)$$

то полная потенциальная энергия пластинки и действующей на нее нагрузки будет равна [3]

$$\mathcal{E} = 4hl \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon - 2p \cdot 2h \cdot \epsilon l. \quad (4)$$

Если теперь продифференцировать (4) по переменному верхнему пределу ϵ [5], то получим уравнение равновесия рассматриваемой пластинки в следующем виде

$$\sigma_u \operatorname{th} \left(\frac{E_0}{\sigma_u} \epsilon \right) - p = 0. \quad (5)$$

которое допускает точное и численное решения методами Ньютона (касательных) и секущих (хорд) [6].

Будем считать плотность энергии по формуле [4]

$$d\mathcal{E} = \frac{E_0}{2(1-\mu_0^2)} (\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + 2\mu_0 \epsilon_x \epsilon_y) + \frac{E_0}{4(1+\mu_0)} \gamma_{xy}^2. \quad (6)$$

После подстановки в (6) соотношений $\epsilon_x = \frac{u}{l}$; $\epsilon_y = -\frac{v}{h}$;

$\gamma_{xy} = 0$ и суммирования по объему пластинки получаем функционал полной энергии сжатой пластинки (см. рис.1) и действующей на нее нагрузки в виде

$$\mathcal{E} = 4hl \frac{E_0}{2(1-\mu_0^2)} \left(\frac{u^2}{l^2} + \frac{v^2}{h^2} + 2\mu_0 \frac{uv}{lh} \right) - 4hlp u. \quad (7)$$

Условие минимума этого функционала даст выражения для перемещений

$$u = \frac{p}{E_0} l, \quad v = -\mu_0 \frac{p}{E_0} h. \quad (8)$$

Очевидно, что при итерационном поиске решения поставленной задачи в (7) будет меняться только модуль упругости, и на каждой итерации с номером m перемещения будут находиться по формуле (8), где E_0 меняется на касательный модуль

$$E_k^{(m)} = \frac{E_0}{\operatorname{ch}^2 \left(\frac{E_0}{\sigma_u} \epsilon_x^{(m-1)} \right)} \quad (9)$$

или секущий модуль

$$E_c^{(m)} = \frac{\sigma_u \operatorname{th} \left(\frac{E_0}{\sigma_u} \epsilon_x^{(m-1)} \right)}{\epsilon_x^{(m-1)}}. \quad (10)$$

Для численного нахождения решения, в соответствии с рисунком 3, организуем итерационный цикл по формуле [6] для следующих исходных данных нагруженной пластинки: $E_0=2 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma_u=200$ МПа; $h=l=1$ м; $\mu_0=0.3$; $p=190 \cdot 10^6$ Н/м²=190 МПа, а именно – для каждой итерации с номером $m (m > 0)$

$$\epsilon_x^{(m)} = \epsilon_x^{(m-1)} + \frac{p - \sigma_u \operatorname{th} \left(\frac{E_0}{\sigma_u} \epsilon_x^{(m-1)} \right)}{E_k^{(m-1)}}, \quad m = 1, 2, \dots \quad (11)$$

– для нулевой итерации ($m=0$) $\epsilon_x^{(0)} = \frac{p}{E_0}$, $E_0^{(0)} = E_0$. (12)

Хотелось бы отметить, что при решении сформулированной задачи через секущий модуль упругости в формуле (11) итерационного цикла модуль упругости заменяется с касательного $E_k^{(m-1)}$ на секущий $E_c^{(m-1)}$, определяемый по формуле (10).

На рис. 4 графически изображен итерационный процесс расчета прямоугольной пластинки через касательный модуль упругости.

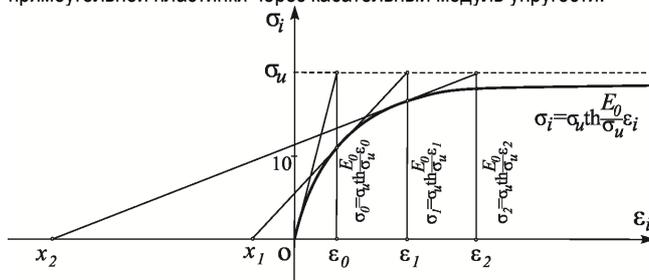


Рисунок 4 – Графическое изображение итерационного процесса для расчета прямоугольной пластинки, где x_1 , x_2 и последующие значения определяются из соотношений

Таблица 1 – Переменный модуль упругости

№ итерации	0	1	2	3	4	5
Модуль упругости, МПа <i>Касательный</i> $E_k^{(m)} = \frac{E_0}{\text{ch}^2\left(\frac{E_0}{\sigma_u} \varepsilon_x^{(m-1)}\right)}$	95	130	164	180	183.1	183.2
<i>Секущий</i> $E_c^{(m)} = \frac{\sigma_u \text{th}\left(\frac{E_0}{\sigma_u} \varepsilon_x^{(m-1)}\right)}{\varepsilon_x^{(m-1)}}$	95	122	138	149	157	162

$$|x_1| = \frac{\sigma_u \text{th}\left(\frac{E_0}{\sigma_u} \varepsilon_0\right)}{E_1} - \varepsilon_0, |x_2| = \frac{\sigma_u \text{th}\left(\frac{E_0}{\sigma_u} \varepsilon_1\right)}{E_2} - \varepsilon_1 \text{ и т. д.}$$

В таблице 1 приведены несколько первых итераций для деформаций $\varepsilon_x^{(m)}$, показывающих скорость сходимости итерационного процесса при использовании касательного и секущего модулей упругости.

Анализ данных табл.1 подтверждает известный из теории факт [6] более быстрой сходимости метода касательных (5 итераций) по сравнению с методом секущих (7 итераций).

Пример 2. Рассмотрим прямоугольную пластинку с упругими параметрами E_0, μ_0 под действием сосредоточенных сил R в условии плоского напряженного состояния (рис. 5).

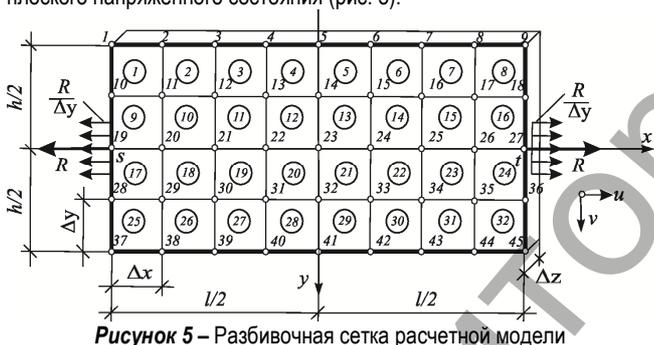


Рисунок 5 – Разбивочная сетка расчетной модели

Разобьем пластинку прямоугольной сеткой (см. рис. 5) на отдельные ячейки (рис. 6) и найдем энергию деформаций [2] для отдельной ячейки с номером "j" в виде (13).

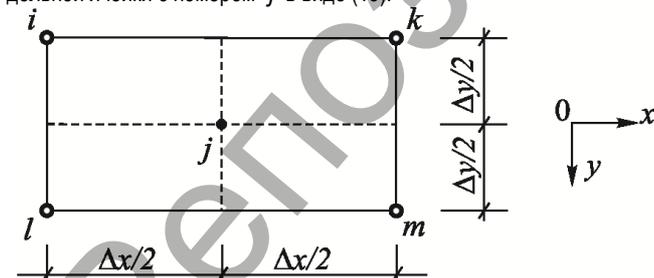


Рисунок 6 – Прямоугольная ячейка метода конечных разностей

$$\Delta \mathcal{E}_j = \frac{E_j^m}{1-\mu_0^2} \left((\varepsilon_x^j)^2 + (\varepsilon_y^j)^2 + 2\mu_0 \cdot \varepsilon_x^j \cdot \varepsilon_y^j \right) + \frac{E_j^m}{4(1+\mu)} (\gamma_{xy}^j)^2 \Delta x \Delta y =$$

$$\left[\frac{E_j^m}{1-\mu_0^2} \left(\frac{1}{2\Delta x} (u_k + u_m - u_l - u_i) \right)^2 + \left(\frac{1}{2\Delta y} (v_k + v_l - v_i - v_m) \right)^2 \right] +$$

$$\left[+ 2\mu_0 \cdot \frac{1}{2\Delta x} (u_k + u_m - u_l - u_i) \cdot \frac{1}{2\Delta y} (v_k + v_l - v_i - v_m) \right] \Delta x \Delta y.$$

$$+ \frac{E_j^m}{4(1+\mu_0)} \left(\frac{1}{2\Delta y} (u_l + u_k - u_i - u_m) + \frac{1}{2\Delta x} (v_k + v_m - v_l - v_i) \right)^2 \Delta x \Delta y. \quad (13)$$

Тогда полная энергия пластинки и действующей на нее нагрузки представится в виде суммы

$$\mathcal{E} = \sum_{n=1}^n \Delta \mathcal{E}_j - R(u_s + u_t), \quad (14)$$

где n – количество ячеек разбивочной области, $n=32$.

Дифференцируя (14) по каждому узловому перемещению, получаем систему линейных алгебраических уравнений.

Для численного нахождения решения организуем итерационный цикл при постоянном коэффициенте Пуассона [3] для следующих исходных данных нагруженной пластинки: $E_0=2 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma_u=240$ МПа; $l = 0,4$ м; $h = 0,2$ м; $\Delta z = 0,01$ м, $\mu_0=0,3$; $R=150$ кН, а именно:

- 1) *Линейный расчет (нулевая итерация).* При начальном модуле упругости E_0 определяются перемещения u_0 и v_0 .
- 2) *1-я итерация.* Находим интенсивность деформации для центра каждой j -й ячейки

$$\varepsilon_j^{(0)} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_x^{(0)} - \varepsilon_y^{(0)})^2 + \varepsilon_y^{(0)2} + \varepsilon_x^{(0)2} + \frac{3}{2} \gamma_{xy}^{(0)2}}. \quad (15)$$

Конечно-разностные соотношения для относительных деформаций (15) приводятся ранее в формуле (13).

Определяем касательный модуль для ячейки с номером «j»

$$E_j^{(1)} = \frac{E_0}{\text{ch}^2\left(\frac{E_0}{\sigma_u} \varepsilon_j^{(0)}\right)}. \quad (16)$$

Находим выражение для полной энергии системы при касательном модуле $E_j^{(1)}$ в каждой ячейке. Дифференцируем ее и из системы линейных алгебраических уравнений, определяем узловые перемещения u_1 и v_1 .

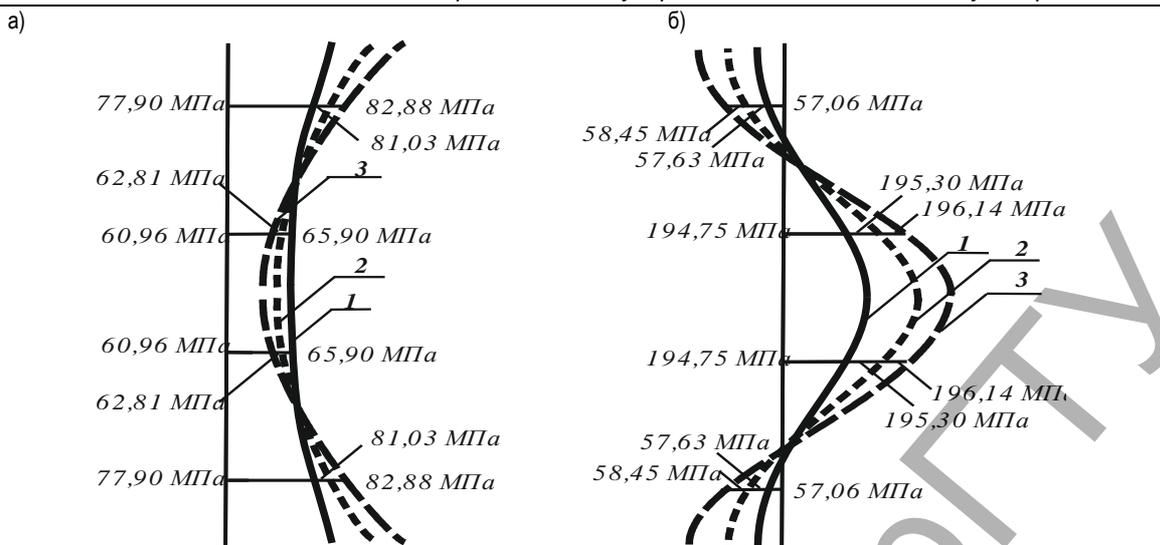
3) *2-я итерация.* Последовательность действий аналогична первой итерации. Находим интенсивность деформации для центра каждой j -й ячейки по формуле (15) и касательный модуль деформации по формуле (16), в которые подставляем относительные деформации, полученные через соотношения из формулы (13), но для первой итерации.

Находим выражение для полной энергии системы при касательном модуле $E_j^{(2)}$ в каждой ячейке. Дифференцируем и определяем узловые перемещения u_2 и v_2 .

4) *«n-ная» итерация.* Аналогично предыдущим, запишем выражение интенсивности деформаций для этой итерации (в общем виде):

$$\varepsilon_j^{(m-1)} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_x^{(m-1)} - \varepsilon_y^{(m-1)})^2 + \varepsilon_y^{(m-1)2} + \varepsilon_x^{(m-1)2} + \frac{3}{2} \gamma_{xy}^{(m-1)2}} \quad (17)$$

На рис. 7, 9 приведены эпюры окончательных нормальных напряжений σ_x в двух вертикальных сечениях пластинки в центрах ячеек $j = 5, 13, 21, 29$ – первое сечение (вблизи середины пластины), $j = 8, 16, 24, 32$ – второе сечение (у края пластины), для сосредоточенной силы R (рис. 7 – линейный расчет; рис. 9 – нелинейный расчет, третья итерация).



а) вблизи середины пластинки, с центрами ячеек 5,13,21,29; б) на краю пластинки, с центрами ячеек 8,16,24,32; 1 – линейный расчет; 2 – первая итерация; 3 – вторая, третья итерации

Рисунок 8 – Эпюра напряжений σ_x в вертикальных сечениях

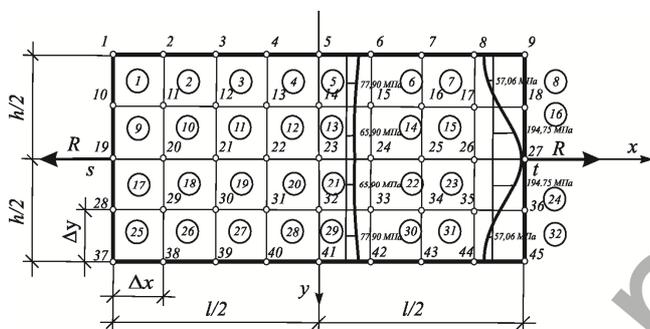


Рисунок 7 – Распределение σ_x в двух вертикальных сечениях пластинки (линейный расчет)

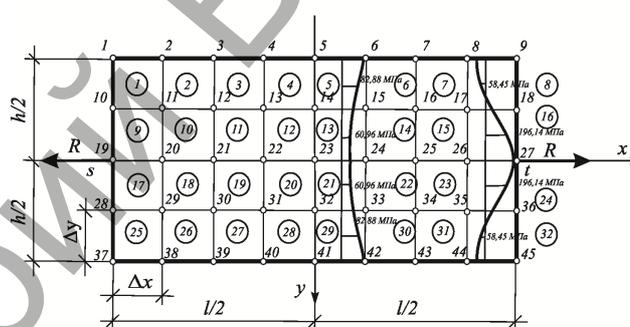


Рисунок 9 – Распределение σ_x по двум вертикальным сечениям пластинки (нелинейный расчет, 3-я итерация)

На рис. 8 приведены эпюры напряжений σ_x в двух сечениях пластинки в центрах ячеек $j = 5, 13, 21, 29$ – первое сечение (вблизи середины пластины), $j = 8, 16, 24, 32$ – второе сечение (у края пластины), результаты линейного расчета (графики 1) и нелинейного расчета в итерациях (графики 2, 3). Хотелось бы отметить быструю сходимость итерационного алгоритма при использовании касательного модуля (полное совпадение результатов уже на третьей итерации).

В результате анализа эпюр σ_x на рис. 8а (в середине пластинки) замечено существенное увеличение расхождения в значениях напряжений в центрах 5 и 13 ячеек: линейный расчет – 15,4%, нелинейный расчет (вторая, третья итерация) – 26,44%, почти в два раза. Это свидетельствует о более медленном соблюдении принципа Сен-Венана для нелинейно упругого расчета в части равномерного распределения перемещений (напряжений) по поперечному сечению от одной из системы сил, которая «состоит из сил, имеющих такую же геометрическую равнодействующую и такой же равнодействующий момент, как и заданные силы, но приложенные и распределенные так, чтобы вызвать перемещения, точно представленные формулами» [7].

Знакопеременные эпюры σ_x на рис. 8б (у края пластинки) с большими значениями напряжений в точке приложения сосредоточенной силы (линейный расчет – 194,75 МПа; нелинейный расчет, третья итерация – 196,14 МПа) полностью соответствуют принципу Сен-Венана в части наличия для второй системы сил, «уравновешенных на очень короткой части призмы» [7], нулевой равнодействующей этих сил.

Несмотря на некоторые расхождения в значениях, интересно отметить, что очертание эпюр напряжений σ_x на рис. 7–9 в основном соответствует принципу Сен-Венана [7], хотя этот принцип ранее доказан только для линейно-деформируемых систем.

Заключение. Приведенные в работе численные результаты двух нелинейных расчетов вариационно-разностным методом различных нагруженных пластинок с использованием касательного модуля упругости показывают ошибочность мнения о невозможности его использования при итерационном расчете нелинейно-упругих пластинок.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барашков, В.Н. Алгоритм реализации задач теории упругости и пластичности вариационно-разностным методом. / В.Н. Барашков // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2003. – Часть 1 – № 3, Т. 306 – С. 23–28.
2. Козунова, О.В. Нелинейный расчет фундаментных плит на слоистых основаниях, ослабленных биогенными включениями / О.В. Козунова // Вестник гражданских инженеров. – СПб., СПбГАСУ, 2009. – № 2(19) – С. 100–104.
3. Рындин, Н.И. Краткий курс теории упругости и пластичности / Н.И. Рындин. – Л.: Изд-во ленинград. университета, 1974. – 174 с.
4. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 1990. – 398 с.
5. Фихтенгольц, Г.М. Основы математического анализа (1) / Г.М. Фихтенгольц. – СПб.: Издательство «Лань», 2001. – 448 с.
6. Калиткин, Н.Н. Численные методы: учебное пособие / Н.Н. Калиткин. – 2-е изд., исправл. – СПб.: БХВ – Петербург, 2014. – 592 с.
7. Сен-Венан, Б. Мемуар о кручении призм. Мемуар об изгибе призм / Сен-Венан Б. – М.: ФМ. – 1961. – 519 с.
8. Джанилидзе, Г.Ю. Принцип Сен-Венана и его использование в теории пластин и оболочек. Расчет пространственных конструкций. – М.: Машиностроение, 1950. – С. 329–342.

Материал поступил в редакцию 29.01.2018

There are statements of a new contact problems about deformation of elastic beams and plate on elastic base, methods and techniques for their solution are proposed, namely the variational – differential approach (VDA) by the other numerical methods based on the finite element method and type experiment.

УДК 624.154+691.32.008.6:691.328.1

Шведовский П.В., Пойта П.С., Клебанюк Д.Н., Сливка Д.Н.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПЛИТНЫХ И ПЛИТНО-СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД КАРКАСНЫЕ И КРУПНОПАНЕЛЬНЫЕ МНОГОЭТАЖНЫЕ ЗДАНИЯ

Введение. Одной из самых актуальных проблем современного фундаментостроения является выбор надежного варианта фундаментов многоэтажных и высотных зданий. Как показывает практика, эти здания не только создают давление на грунтовое основание порядка 300-700 кПа, но и вовлекают в работу большой массив прилегающего грунта, для которого обычно характерна значительная неоднородность по простиранию и глубине.

Повышенная и неравномерная деформируемость грунтового массива, особенно при неравномерности передачи на него нагрузок, зачастую приводит к развитию чрезмерных осадок, прогибов и кренов фундаментных конструкций многоэтажных и высотных зданий. Так же зачастую характерно и существенно большее развитие зоны деформации грунтового массива вне пятна здания, что обуславливает относительно замедленную стабилизацию осадок и, соответственно, достижение их конечных (максимальных) значений за более длительные интервалы времени.

Следует иметь в виду, что для многоэтажного строительства точность расчета осадок фундаментов является самой приоритетной задачей, так как именно ее величина, в конечном итоге, и определяет большинство конструктивных решений здания [1, 2, 3].

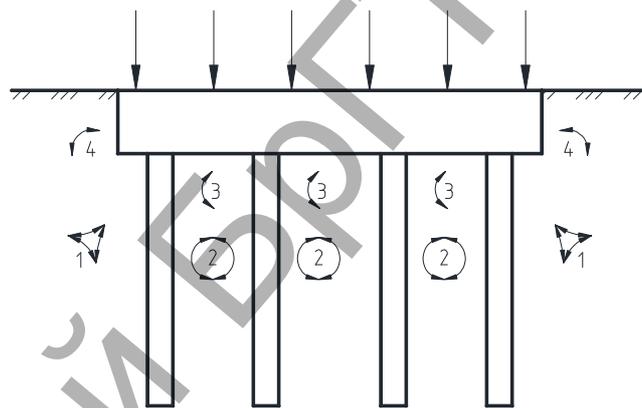
Как показывает практика, обычно в качестве фундаментов, на начальном этапе проектирования, рассматривается монолитная железобетонная плита, обеспечивающая допустимую неравномерность и предельную величину осадки, а так же допустимые величины внутренних усилий и деформаций в фундаментных конструкциях.

Если плитные фундаменты не позволяют обеспечить нормативные проектные требования, то целесообразно переходить на фундаменты глубокого заложения – свайные, с формированием свайных полей с постоянным шагом, либо укрепляющих свайных кустов, т. е. со сгущением шага свай под колоннами, стенами и ядрами жесткости.

Однако учитывая, что механическая работа свай в составе как большемерных групп, так и одиночных свай существенно различается, при этом жесткость групп свай в составе с плитой меньше жесткости одиночных свай, а жесткость плиты со сваями – меньше жесткости плиты без свай, необходимо при проектировании нулевого цикла рассматривать систему «основание-фундамент» с четырьмя видами взаимодействий элементов фундаментных конструкций (рисунок 1).

Анализ и методика исследований. Всё вышесказанное позволяет считать, что основную роль в поведении такой сложной многокомпонентной системы играет распределение нагрузки между свайной и плитной составляющими, которое выражается уравнением

$$L_p = \sum \frac{P_{pile}}{P_{tot}}, \quad (1)$$



1 – свая-грунт; 2 – свая-свая; 3 – плита-свая; 4 – плита-грунт
Рисунок 1 – Схема взаимодействий элементов в системе «основание-фундамент»

где P_{pile} и P_{tot} – соответственно нагрузки на свайную составляющую и общая нагрузка.

Проблема определения свайной составляющей нагрузки обусловлена качественным отличием взаимодействия свайных полей и свайных групп с грунтовым массивом. При свайных полях вовлекается в работу весь массив межсвайного грунта и отпор грунта препятствует смещению свай и концентрируется только в нижней части по острию и части ствола, пропорционально шагу свай, что не характерно для одиночных подкрепляющих свай и свайных кустов.

Все это и создает существенные трудности при проектировании фундаментов, так как пакеты расчетных программ на основе метода конечных элементов, использующие модель упругой или упругоидеальнопластической среды с условием текучести Кулона-Мора, не учитывают различий деформируемости и жесткости грунта от его напряженного состояния. Для модели же упругоупругих сред с деформационным упрочнением, являющейся базовой программы PLAXIS, необходимы знания параметров, не входящих в число определяемых стандартными инженерно-геологическими изысканиями.

В национальных ТНПА отсутствуют методики расчёта деформативных свойств грунта в основании фундаментной плиты. Считается, что вся нагрузка от внешних воздействий передается на основание свайной группой, а несущая способность фундамента определяется как сумма несущих способностей отдельных свай, при этом осадка фундамента определяется как для условного массива с условием, что межсвайный грунт полностью вовлечён в работу сваями.

Шведовский Петр Владимирович, к.т.н., профессор, заведующий кафедрой геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Пойта Петр Степанович, д.т.н., профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций, ректор Брестского государственного технического университета.

Клебанюк Дмитрий Николаевич, старший преподаватель кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Сливка Денис Николаевич, директор ЧПУП «БрестКАДпроект».

Беларусь, Брест, ул. Советская, 80, оф. 49.