

УДК 624.155.114

Супонев В.Н. к.т.н.,
Вивчар С.М., асп.,
Константиненко В.В., маг.

ВЛИЯНИЕ ОСЕВОЙ СИЛЫ ПРИГРУЗА НА КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ЗАВИНЧИВАНИЯ ВИНТОВЫХ СВАЙ

АННОТАЦИЯ

В работе приведены результаты исследования влияния конструкций механизмов погружения на силовые и энергетические характеристики процесса погружения винтовых свай и якорей в грунт. Описаны закономерности влияния осевой силы пригруза на крутящий момент заворачивания якоря в грунт и производимую механизмом погружения работу. Даны рекомендации по рациональному использованию осевой силы пригруза для заворачивания винтовых свай и якорей.

Ключевые слова: винтовая свая, механизм погружения, процесс погружения, осевое усилие, крутящий момент, работа.

Актуальность работы

В связи с увеличением темпов строительства зданий и сооружений в последние годы, развитием энергосберегающих технологий и ограниченностью энергетических ресурсов, актуальны разработки в

области энергосбережения. Авторами рассмотрены силовые и энергетические параметры процессов погружения винтовых свай и якорей, сделаны предложения по оптимизации процесса заворачивания и уменьшения энергопотребления силовой установки механизма погружения.

Анализ публикаций

В работах [1– 3] приведены рекомендации по выбору рациональной осевой силы пригруза и крутящего момента для погружения винтовых свай и якорей. В работе [4] отражены результаты исследования влияния конструкции винтового якоря на крутящий момент заворачивания, а в работах [5– 7] – результаты экспериментов по погружению винтовых свай и якорей с различными усилиями пригруза.

Целью работы является уточнение влияния осевой силы пригруза на силовые характеристики погружения винтовых свай и якорей.

Основной материал

В настоящее время существуют различные машины и механизмы для погружения винтовых свай и якорей, отличающиеся конструкцией и принципом действия:

- механизмы с принудительной подачей (Рис. 1а);
- механизмы погружения с усилием пригруза (Рис. 1б);
- механизмы заворачивания без усилия пригруза. (Рис. 1в)

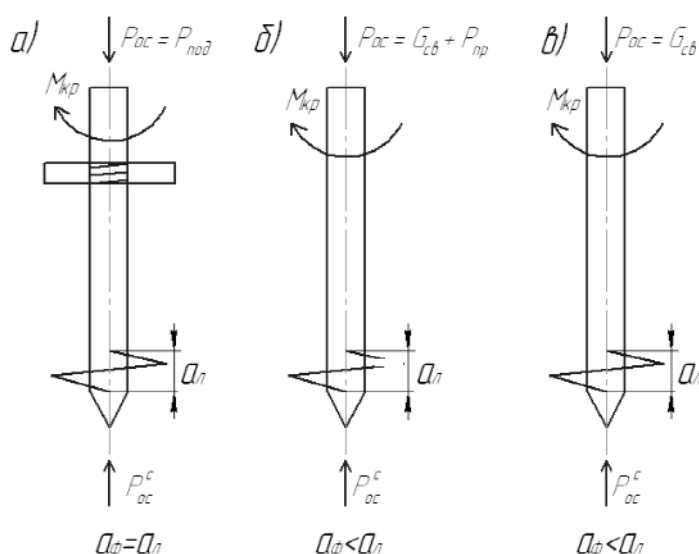


Рис. 1. Схемы погружения винтовых свай и якорей:

- а) погружение с принудительной подачей; б) погружение с осевой силой пригруза;
в) погружение без осевой силы пригруза

Рассмотрим влияние осевых сил на процесс погружения в каждом случае.

При погружении якоря или сваи в грунт путем завинчивания с принудительной подачей (рисунок 1а) соблюдаются следующие условия:

- шаг погружения равен шагу лопасти: за один оборот свая погружается на глубину шага лопасти ($a_{\phi} = a_{\pi}$);
- осевое усилие сопротивления равно осевому усилию подачи ($P_{ос} = P_{под}$);
- коэффициент пробуксовки равен единице, пробуксовка лопасти не происходит ($K_{\pi} = 1$).

При таком способе погружения нижняя поверхность лопасти постоянно находится в контакте с грунтом [5], что приводит к возникновению моментов сопротивления на ней, которые преодолеваются за счет крутящего момента привода завинчивания. Размер осевого усилия пригруза влияет на схему взаимодействия винтовой лопасти с грунтом и величину крутящего момента завинчивания сваи. В установках, которые имеют блок принудительной осевой подачи, заданный ритм завинчивания обеспечивается во всех грунтовых условиях. Однако при этом требуется в 1,5...2 раза больший крутящий момент завинчивания по сравнению с крутящим моментом в установках со статическим пригрузом [6].

Для обеспечения завинчивания сваи при условии $a_{\phi} = a_{\pi}$ необходимо, чтобы нижняя поверхность лопасти была в постоянном контакте с грунтом и осевое усилие на наконечнике ствола было равно усилию сопротивления наконечника погружению в грунт [6]:

$$P_{ос}^k = Q_k^c, \quad (1)$$

где $P_{ос}^k$ – осевое усилие на наконечнике; Q_k^c – сопротивление погружению конического наконечника в грунт.

При завинчивании с осевой силой пригруза (рис. 1б) в контакте с грунтом находится нижняя поверхность лопасти, а верхняя поверхность лопасти с грунтом практически не взаимодействует.

Момент сопротивления на нижней поверхности лопасти определяется выражением:

$$M_{л.н}^c = \frac{P_{ос} - Q_{ст} - Q_k + P_{сп}^y + G_{св}}{\cos \alpha^* - f \sin \alpha^*} \cos \alpha^* R^*, \quad (2)$$

- где $P_{ос}$ – осевое усилие пригруза;
- $Q_{ст}$ – сопротивление погружению в грунт на стволе сваи;
- Q_k – сопротивление погружению на кониче-

ском наконечнике;

α^* – средний угол наклона лопасти;

$R^* = 0,33D_{л}$ – радиус трения винтовой пары "нижняя поверхность лопасти – грунт";

$G_{св}$ – вес винтовой сваи или якоря.

Требуемый крутящий момент равен или больше момента сопротивления завинчивания лопасти

$$M_{кр} \geq M_{л.н}^c. \quad (3)$$

На рис. 2 представлены результаты теоретических исследований процессов погружения винтовых якорей, которые показывают, что осевое усилие пригруза $P_{ос}$ всегда приводит к увеличению крутящего момента $M_{кр}$.

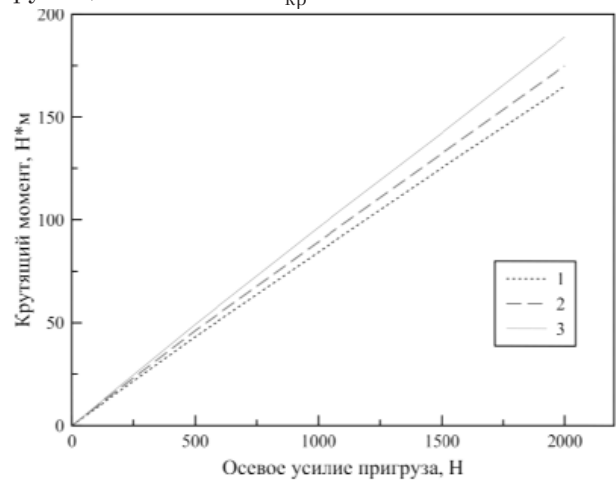


Рис. 2. Зависимость крутящего момента от осевой силы пригруза для винтовой сваи с диаметром лопасти 400 мм при след. условиях: грунт – суглинок; наконечник – конический, $\beta = 60^\circ$; лопасть – одновитковая; 1 – лопасть диаметром 100 мм; 2 – лопасть диаметром 125 мм; 3 – лопасть диаметром 150 мм

На крутящий момент погружения сваи влияет не только осевое усилие пригруза, но и шаг лопасти. При увеличении шага лопасти происходит возрастание крутящего момента (рисунок 3).

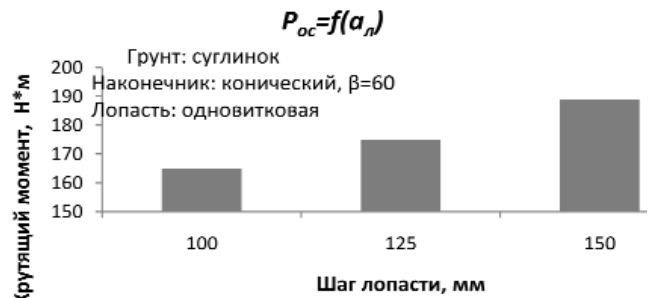


Рис. 3. Зависимость крутящего момента от шага лопасти для винтовой сваи с диаметром лопасти 400 мм при погружении с пригрузом массой 200 кг.

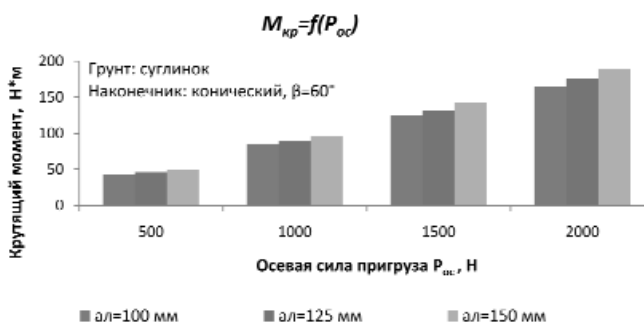


Рис. 4. Зависимость крутящего момента от осевой силы пригруза для винтовой сваи с диаметром лопасти 400 мм и шагом лопасти (a_л) 100 мм; 125 мм; 150 мм

При завинчивании без осевой силы пригруза (рисунок 1в) винтовая лопасть пробуксовывает в грунте. В данном случае большую роль играет коэффициент пробуксовки (K_п), который зависит от фактического шага погружения лопасти. Погружение производится за счет тянущего усилия винтовой пары "лопасть сваи – грунт". Возникают силы трения между верхней поверхностью лопасти и грунтом, что приводит к значительному увеличению коэффициента пробуксовки. При этом нижняя поверхность лопасти в работе не участвует, и силы трения на ней отсутствуют или близки к нулю.

Момент сопротивления на верхней поверхности лопасти определяется следующим выражением [6]:

$$M_{л.в}^c = 0,33D_{л}\sigma_{л.в}F_{л}(f \cos \alpha^* + \sin \alpha^*) \quad (4)$$

где $\sigma_{л.в}$ – силы трения на верхней части лопасти;

f – коэффициент, зависящий от типа грунта;

α^* – средний угол наклона поверхности лопасти.

При использовании механизма без осевого усилия пригруза фактический шаг погружения значительно меньше шага лопасти. Это приводит к необходимости сделать дополнительные обороты сваи в грунте для завинчивания на заданную глубину.

Коэффициент пробуксовки влияет на фактическое количество оборотов сваи при завинчивании:

$$n_{\phi} = \frac{n_{P_{ос}}}{K_{п}} \quad (5)$$

где $n_{P_{ос}}$ – количество оборотов при использовании осевой силы пригруза;

K_п – коэффициент пробуксовки лопасти;

a_ф – фактический шаг погружения.

Коэффициент пробуксовки K_п вычисляется по

формуле:

$$K_{п} = \frac{a_{\phi}}{a_{л}}, \quad (6)$$

где a_ф – фактический шаг погружения;
a_л – шаг лопасти винтовой сваи.

$$a_{\phi} = n_{\phi}H \quad (7)$$

Так как a_ф < a_л, то коэффициент пробуксовки K_п < 1

Глубина погружения выражается из формулы:

$$H = a_{\phi}n_{\phi}. \quad (8)$$

Исходя из вышесказанного, можно вычислить фактическое количество оборотов сваи по исходным параметрам:

$$n_{\phi} = \frac{H}{a_{л}K_{п}}, \quad (9)$$

где a_л – шаг лопасти сваи.

Работу механизма погружения можно разложить на две части: работа вращения ствола сваи и работа погружения лопасти на глубину. В общем виде суммарная работа выражается из формулы:

$$\sum A = \int_0^{\pi n} M_{кр} d\phi + \int_0^H (P_{ос} + G_{св}) dH, \quad (10)$$

φ где – угол поворота ствола сваи.

Если осевое усилие пригруза не используется, то работа вычисляется по формуле:

$$\sum A = \int_0^{\pi n} M_{кр} d\phi + \int_0^H G_{св} dH. \quad (11)$$

На основе полученных зависимостей были рассчитаны возможные значения работы для трех винтовых свай одного диаметра с разным шагом лопасти, при погружении с усилием пригруза и без него. На рис. 5 представлены данные о значении количества выполняемой работы механизма завинчивания при погружении одних и тех же винтовых якорей двумя различными способами.

На графике видно, что разница в работе при погружении разными способами велика, а расходы на энергоресурсы можно уменьшить в несколько раз. Но следует учитывать, что завинчивание без пригруза связано с множеством рисков, включая образование уплотненного ядра грунта на верхней части лопасти якоря и отрыв его от массива грунта, что приведет к остановке процесса завинчивания.

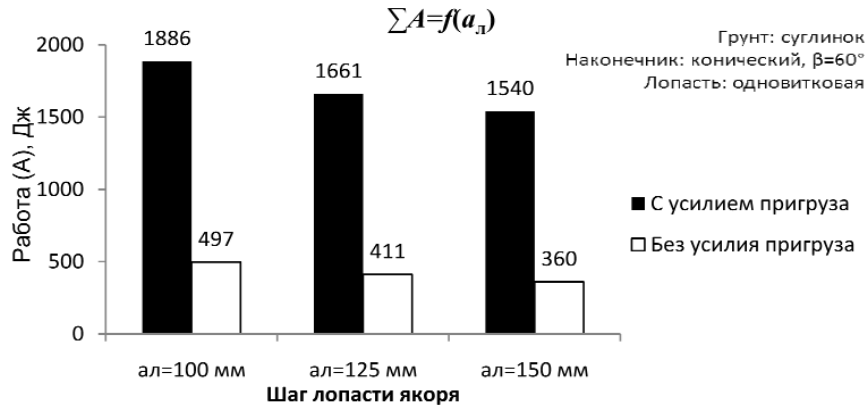


Рис. 5. Зависимость работы от осевого усилия пригруза при изменении шага лопасти винтового якоря

ния. Поэтому, рекомендуется проводить геологические изыскания и анализ среды взаимодействия для уменьшения рисков. Также замечено, что при увеличении шага лопасти, происходит уменьшение затрачиваемой работы. Вероятно, это связано с увеличением фактического шага и уменьшением числа оборотов лопасти в грунте до погружения на заданную глубину.

Процесс завинчивания винтовой сваи начинается с погружения ее поверхностный слой. Для соприкосновения с грунтом винтовой лопасти сваи необходимо за счет внешней силы пригруза P_{oc} обеспечить преодоление осевых сил сопротивления внедрению конуса в поверхностный слой грунта.

С учетом вращения сваи сопротивление внедрению конуса в массив грунта можно представить как [6]:

$$Q_{кон.н.} = \frac{2\pi k_p}{\sqrt{\sin \beta \sin \beta}} \left[\frac{\sin \beta d_{ст}^2}{10} \sqrt{\frac{d_{ст}}{2}} + 2f \sqrt{\frac{a_\phi}{2\pi}} \frac{1}{3} \left(\frac{\pi d_{ст}}{a_\phi} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{2} \left(\frac{a_\phi}{\pi d_{ст}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (12)$$

где K_p – параметр параболы, зависящий от физико-механических свойств грунта (для конических наконечников $K_p = 3,15$);

2β – угол заострения конуса;

a_ϕ – фактический шаг погружения конуса.

На рисунке 4 представлена зависимость осевой силы сопротивления на коническом наконечнике при его погружении в поверхностный слой грунта с вращением.

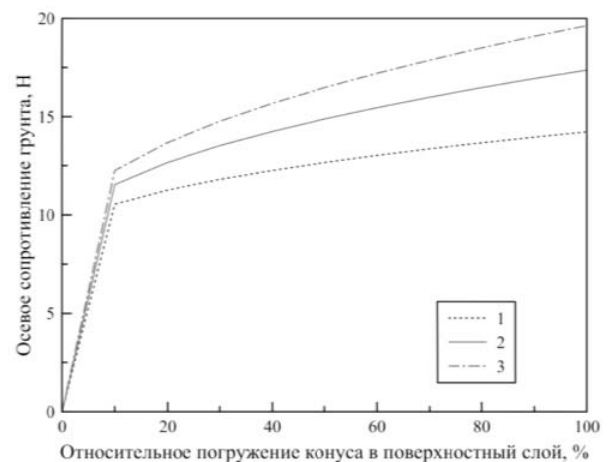


Рис. 6. График изменения осевого сопротивления конического наконечника в процессе погружения для трех винтовых свай различных диаметров: 1 – диаметр конуса 0,03 м; 2 – диаметр конуса 0,075 м; 3 – диаметр конуса 0,12 м

Можно утверждать, что для обеспечения процессов погружения винтовых свай в массив грунта, механизм погружения должен обеспечивать усилие пригруза не меньше:

$$P_{oc} \geq Q_{кон.н.} - G_{св} \quad (13)$$

где $G_{св}$ – вес сваи.

После погружения лопасти винтовой сваи в поверхностный слой грунта возникает тянущее усилие винтовой пары "лопасть– грунт", которое выражается несущей способностью винтового якоря. Несущая способность лопасти ($P_{нес.}$) – способность преодолевать осевое сопротивление погружению лишь при помощи крутящего момента, развиваемого установкой для погружения винтовых свай и якорей.

Несущая способность ($P_{\text{нес}}$) винтового анкера или якоря при действии вертикальной нагрузки равна [6]:

$$P_{\text{нес}} = \frac{\gamma \pi D_{\text{л}}^2 H}{4} \left[1 + \frac{2H \text{tg} \psi_0}{D_{\text{л}}} + \frac{4}{3} \left(\frac{H}{D_{\text{л}}} \text{tg} \psi_0 \right)^2 \right] + c_0 \pi H (D_{\text{л}} + H \text{tg} \psi_0), \quad (14)$$

где γ – плотность грунта, расположенного над винтовой лопастью;

H – глубина погружения лопасти.

ψ_0 и C_0 – расчетные параметры грунта, определяемые по формулам $\psi_0 = \eta \phi_1$; $c_0 = \eta c_1$,

ϕ_1 и c_1 – расчетные значения соответственно угла внутреннего трения грунта и удельного сцепления;

η – коэффициент, зависящий от вида грунта и его плотности.

Для завинчивания на расчётную глубину до возникновения надежного сцепления лопасти с грунтом необходимо использование осевой силы пригруза. Минимальное значение осевой силы пригруза можно определить путем решения уравнения [6]:

$$\frac{P_{\text{ос}} - Q_{\text{ст}} - Q_{\text{к}} + P_{\text{ср}}^y + G_{\text{св}}}{\cos \alpha * -f \sin \alpha * } \cos \alpha * R^* = 0. \quad (16)$$

На рисунке 7 показан график зависимости требуемой глубины погружения лопасти для дальнейшего завинчивания без осевой силы пригруза. На графике видно, что чем больше диаметр лопасти, тем меньше требуемая глубина погружения. Также при этом снижается разница требуемой глубины погружения в различных типах грунтов.

После погружения на расчетную глубину и возникновения несущей способности лопасти целесообразно снять со ствола сваи конструктивные элементы, обеспечивающие усилие пригруза, с целью уменьшения крутящего момента и затрачиваемой энергии силовой установки.

Выводы.

1. При завинчивании винтовых свай и якорей с осевой силой пригруза целесообразно проводить предварительные геологические изыскания и подбор оптимальной осевой силы пригруза.

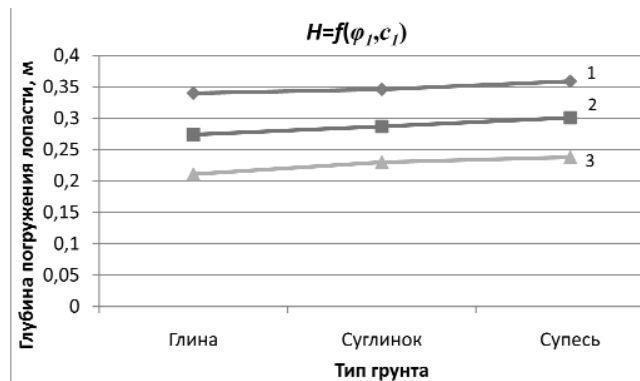


Рис. 7. График зависимости требуемой глубины погружения лопасти для дальнейшего завинчивания без осевой силы пригруза: 1 – для лопасти диаметром 100 мм; 2 – для лопасти диаметром 250 мм; 3 – для лопасти диаметром 400 мм;

2. Осевая сила пригруза якоря или сваи имеет прямое влияние на необходимый для завинчивания крутящий момент установки погружения.

3. С экономической точки зрения, целесообразнее погружать винтовые сваи и якоря без пригруза, что значительно уменьшает затраты на расходы энергоресурсов.

4. Погружение без усилия пригруза несет за собой риски, связанные с возможным срывом процесса завинчивания.

5. Для завинчивания за счет тянущей способности винтовой лопасти необходимо применение осевой силы пригруза на начальном этапе погружения до возникновения в грунте винтовой пары "лопасть– грунт".

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по определению крутящего момента и осевого усилия при погружении винтовых свай: Р 462 – 82. – Москва. – ВНИИСтА. – 1982. – С. 52.
2. Проектирование и устройство свайных фундаментов: СП 50– 102– 2003 Москва. – 2004. – С. 87.
3. Лебедев С.В. Крутящий момент завинчивания винтового якоря в грунт / С.В. Лебедев // Вестник СГТУ. – 2011. – №2(55). – Вып. 1. – С.78– 86.
4. Лебедев С.В. Обоснование оптимальных параметров винтовых анкеров и редуктор– тора привода вращения. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04/ Лебедев Сергей Владимирович. – Новочеркасск. – 2012. – 206 с.
5. Пенчук В.А. Исследование и создание винтовых якорных опор, применяемых для стабилизации

строительных машин. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Пенчук Валентин Алексеевич. – Москва. – 1979. – 201 с.

6. Пенчук В.А. Винтовые сваи и анкера для опор: монография / Пенчук В.А. – Донецк: "Ноулидж". – 2010. – 179 с.

7. Пенчук В.А. Экспериментальные исследования процессов погружения винтовых свай и якорей / В.А. Пенчук, В.В. Константиненко // Подъемно-транспортные и строительные системы: наука и инновации, ЮРГПУ (НПИ) им. Платова. – 2016. – С.134 – 139.

АНОТАЦІЯ

У роботі наведені результати дослідження впливу конструкцій механізмів занурення на силові і енергетичні характеристики процесу занурення гвинтових паль і якорів у ґрунт. Описано закономірності впливу осьової сили пригрузу на крутний момент загвинчування якоря в ґрунт та виконану механізмом занурення роботу. Дано рекомендації щодо раціонального використання осьової сили пригрузу для загвинчування гвинтових паль і якорів.

Ключові слова: гвинтова паля, механізм занурення, процес занурення, осьове зусилля, крутний момент, робота.

ANNOTATION

The results of studies of the effect of structures dipping mechanisms on power and energy characteristics of the process of immersion of screw piles and anchors in the ground. The regularities of influence of axial force on torque screwing the anchor into the ground and produced mechanism dive operation. Recommendations on the rational use of axial force for screwing screw piles and anchors.

Key words: screw pile, dive gear, dive process, axial force, torque, work.

УДК 624.015:624.023:620.19

Матченко Т.І., к.т.н

Шаміс Л.Б.

Первушова Л.Ф.

ПОМИЛКИ В ДБН В.2.6-198 :2014

АНОТАЦІЯ

Знайдені помилки в ДБН В.2.6-198:2014 в формулах з визначення розрахункових опорів болтових з'єднань на розтяг, а також в формулах, які містять коефіцієнт надійності за відповідальністю. Запропоновані нові формули для визначення розрахункових опорів болтових з'єднань на розтяг і на зріз. Наведені посилання на критерії для розрахунків на міцність та опір крихкому руйнуванню елементів сталевих конструкцій з тріщинами, що знаходяться в експлуатації, при центральному розтягу, при позацентровому розтягу і при згині.

Ключові слова: болти, розрахунковий опір, металеві конструкції.

Вступ

В таблиці 7.4 ДБН В.2.6-198 [1] приведені формули з визначення розрахункових опорів болтових з'єднань. Розрахунки за формули для визначення розрахункового опору розтягу одноболтового з'єднання (R_{bt}) для болтів класу міцності 5.6; 8.8; 10.9 дають результати, які не співпадають з результатами таблиці Д.4 [1]. Таблиця 7.4 ДБН В.2.6-198 [1] з формулами в яких помилки приведена в таблиці 1. В таблиці 2 приведено порівняння значень R_{bt} з таблиці Д.4 [1] і обчислених за формулами Табл. 7.4 [1].

З таблиці 2 видно, що значення R_{bt} з таблиці Д.4 [1] і обчислених за формулами Таблиця 7.4 [1] мають суттєві відмінності.

Ціль роботи — Визначити, яким чином слід усунути відмінності таблиці Д.4 [1] і обчислень за формулами Таблиця 7.4 [1]? Виконати аналіз інших формул в ДБН В.2.6-198:2014.

Аналіз нормативних документів

В таблиці 5 [2], наведені формули для визначення розрахункових опорів болтових з'єднань, якими користуються в РФ. Для розрахункового опору розтягу одноболтового з'єднання (R_{bt}) для болтів класу міцності 5.6; 8.8; 10.9, ці формули приведені в таблиці 3.