

Пойта П.С., Левчук А.А., Пчелин В.Н., Юськович В.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСТОГО ВРЕМЕНИ ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ ЗАБИВКОЙ

Для технологического проектирования свайных работ требуется знание чистого времени забивки T свай в грунт, которое используется для определения производительности сваепогружающего оборудования, нормирования труда и денежных затрат, установления сроков производства работ.

В практике строительства время T определяют фактически на стадии производства работ после пробной забивки свай, что затягивает сроки разработки технологических карт. Следовательно, задача определения чистого времени погружения свай на стадии проектирования является актуальной.

Существующие методики определения T основываются на нахождении общих энергозатрат на забивку свай в грунт. Зная общие энергозатраты на погружение свай и энергию одного удара, находится требуемое количество ударов, а затем и чистое время погружения T .

В соответствии с методикой, изложенной в [1], при наличии результатов статического зондирования (инженерно-геологических изысканий) T определяется по выражению:

$$T = \frac{n \cdot E_{ep}}{B \cdot E_d}, \quad (1)$$

где $n = 2,4$ – среднестатистический коэффициент, учитывающий различие в процессах статического и динамического погружения свай и потери энергии при забивке; E_{ep} – энергоемкость погружения свай статическим методом (вдавливанием), Дж; B – число ударов молота в минуту, шт.; E_d – энергия одного наносимого молотом удара, Дж, (см. [2], прил. 5, табл. 3).

$$E_{ep} = K_1 \left(\sum_{i=1}^n R_{zi} \cdot A \cdot h_i + \frac{1}{2} K_2 \cdot U \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot h_i \right), \quad (2)$$

где K_1 – коэффициент однородности грунта строительной площадки ($k = 0,9...1$, см [1]); R_{zi} – лобовое сопротивление грунта зондированию в i -м слое, Па; A – площадь поперечного сечения свай, м; h_i – толщина i -го слоя грунта, м; K_2 – коэффициент проработки грунта, учитывающий неполноту контакта свай с грунтом в процессе забивки (принимается по [1]); U – периметр свай, м; τ_i – величина бокового сопротивления грунта зондированию в i -м слое, Па.

К недостаткам данной методики можно отнести следующее:

- при расчетах получается заниженное время T погружения свай;
- не учитываются возможные отказы (остановки) дизель-молота в начальной стадии погружения, особенно при забивке в слабые грунты;
- не учитывается изменение энергии ударов в процессе забивки свай;
- не устанавливается расчетная глубина погружения свай до момента получения проектного отказа свай.

С целью устранения указанных недостатков предлагается метод определения T на основе расчетов отказов свай.

В соответствии с [2] значение отказа S свай при забивке железобетонных свай длиной до 25 м в зависимости от энергии удара E_d выбранного молота и несущей способности F свай можно найти по выражению:

$$S = \frac{\eta \cdot A \cdot E_d}{F(F + \eta A)} \cdot \frac{m_1 + \xi^2 m_2}{m_1 + m_2}, \quad (3)$$

где η – коэффициент, принимаемый по [2], в зависимости от материала свай; A – площадь, ограниченная наружным контуром сплошного или полого поперечного сечения ствола свай (независимо от

наличия или отсутствия у свай острия); E_d – расчетная энергия удара молота; m_1 – масса молота; ξ – коэффициент восстановления удара; m_2 – масса свай с наголовником и подбабком; F – несущая способность свай по грунту основания.

Несущую способность свай при нанесении j -го удара можно определить по формуле:

$$F_j = \frac{F_{j1} + F_{j2}}{2}, \quad (4)$$

где F_{j1} – несущая способность свай перед нанесением удара (рис. 1.1 а); F_{j2} – то же, после нанесения удара (рис. 1.1 б).

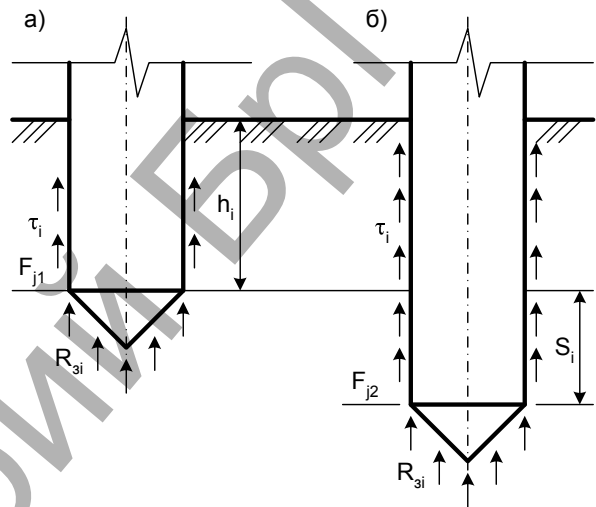


Рис. 1. Схема к определению отказа свай S при ее забивке в однородный грунт

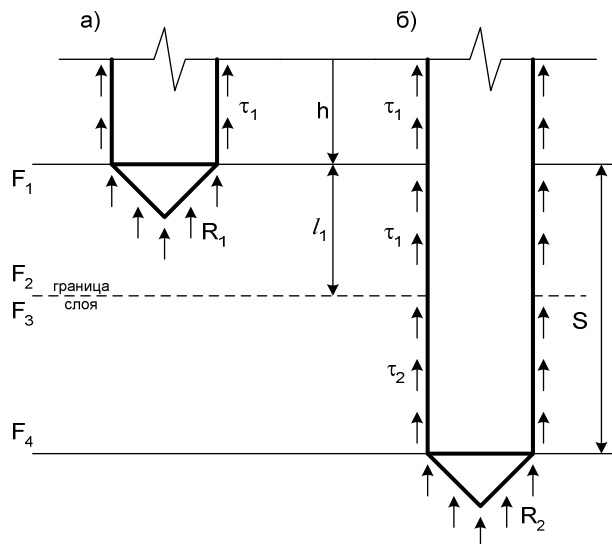


Рис. 2. Схема к определению отказа свай S при ее забивке в неоднородный грунт

Пойта Петр Степанович, доктор технических наук, профессор, ректор Брестского государственного технического университета.

Пчелин Вячеслав Николаевич, доцент кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

Юськович Виталий Иванович, кандидат технических наук, зав. кафедрой технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

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

Левчук Александра Александровна, младший научный сотрудник филиала РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр.

Несущую способность сваи в процессе ее забивки по данным статического зондирования можно определить по выражению:

$$F = K_1(R_{3i} \cdot A + \sum K_2 \cdot \tau_i \cdot U \cdot h_i). \quad (5)$$

При однородном грунте (рис. 1 а, б) получаем

$$F_{j1} = K_1(R_{3i} \cdot A + K_2 \cdot \tau_i \cdot U \cdot h_i); \quad (6)$$

$$F_{j2} = F_{j1} + K_1 \cdot K_2 \cdot \tau_i \cdot U \cdot S. \quad (7)$$

Подставив значения F_{j1} и F_{j2} в (4), а значение F_j в (3), получаем уравнение третьей степени относительно отказа сваи S :

$$C^2 \cdot S^3 + (2F_{j1} \cdot C + C \cdot \eta \cdot A) \cdot S^2 + (F_{j1}^2 + \eta \cdot A \cdot F_{j1}) \cdot S - P = 0, \quad (8)$$

где $C = \frac{1}{2} K_1 \cdot K_2 \cdot \tau_i \cdot U;$ (9)

$$P = \frac{\eta \cdot A \cdot E_d \cdot (m_1 + \xi^2 \cdot m_2)}{m_1 + m_2}. \quad (10)$$

Уравнение (8) – уравнение третьей степени относительно S , можно представить в виде

$$c_3 \cdot S^3 + c_2 \cdot S^2 + c_1 \cdot S + c_0 = 0, \quad (11)$$

с коэффициентами:

$$c_0 = -P; \quad c_1 = F_{j1}^2 + \eta \cdot A \cdot F_{j1};$$

$$c_2 = 2 \cdot F_{j1} \cdot C + C \cdot \eta \cdot A; \quad c_3 = C^2. \quad (12)$$

$$S = \frac{1}{6c_3} (-2c_2 + \frac{2 \cdot \sqrt[3]{2} \cdot (c_2^2 - 3c_1 \cdot c_3)}{(-2c_2^3 + 9c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 - 27c_0 \cdot c_3 + \sqrt{-4(c_2^2 - 3c_1 \cdot c_3)^3 + (2c_2^3 - 9c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 + 27c_0 \cdot c_3)^2})^{1/3}} + \dots) + \dots \quad (13)$$

Решим уравнение (11) при помощи пакета «Mathematica».

Для неоднородного грунта (рис. 2 а, б):

$$F_1 = K_1(R_1 \cdot A + K_2 \sum \tau \cdot U \cdot h); \quad (14)$$

$$F_2 = K_1(R_1 \cdot A + K_2 \sum \tau \cdot U \cdot h + K_2 \cdot \tau_1 \cdot U \cdot l_1); \quad (15)$$

$$F_3 = K_1(R_2 \cdot A + K_2 \sum \tau \cdot U \cdot h + K_2 \cdot \tau_1 \cdot U \cdot l_1); \quad (16)$$

$$F_4 = K_1(R_2 \cdot A + K_2 \sum \tau \cdot U \cdot h + K_2 \cdot \tau_1 \cdot U \cdot l_1 + K_2 \cdot \tau_2 \cdot U \cdot (S - l_1)). \quad (17)$$

Несущую способность сваи при нанесении j -го удара можно определить по формуле:

$$F = (\frac{F_1 + F_2}{2} l_1 + \frac{F_3 + F_4}{2} (S - l_1)) \frac{1}{S}. \quad (18)$$

После приведения подобных слагаемых получим

$$F = CF_0 \frac{1}{S} + CF_1 + CF_2 \cdot S, \quad (19)$$

где $CF_0 = \frac{1}{2} K_1 \cdot l_1 \cdot (2A \cdot (R_1 - R_2) + K_2 \cdot l_1 \cdot (-\tau_1 + \tau_2) \cdot U);$

$$CF_1 = K_1 \cdot (A \cdot R_2 + K_2 (\sum \tau \cdot U \cdot h + l_1 \cdot (\tau_1 - \tau_2) \cdot U)); \quad (20)$$

$$CF_2 = \frac{1}{2} K_1 \cdot K_2 \cdot \tau_2 \cdot U.$$

Подставим (19) в (3) и приведем полученное уравнение к виду:

$$c_4 \cdot S^4 + c_3 \cdot S^3 + c_2 \cdot S^2 + c_1 \cdot S + c_0 = 0 \quad (21)$$

Тогда:

$$c_0 = -CF_0^2; \quad c_1 = C_1 - C_2 \cdot CF_0 - 2 \cdot CF_0 \cdot CF_1;$$

$$c_2 = -C_2 \cdot CF_1 - CF_1^2 - 2 \cdot CF_0 \cdot CF_2;$$

$$c_3 = -C_2 \cdot CF_2 - 2 \cdot CF_1 \cdot CF_2; \quad c_4 = -2 \cdot CF_2^2, \quad (22)$$

где $C_1 = \eta \cdot A \cdot E_d \frac{m_1 + \xi^2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}; \quad C_2 = \eta \cdot A. \quad (23)$

Решение уравнения (21) имеет вид:

$$S = -\frac{c_3}{4 \cdot c_4} - \frac{1}{2} \sqrt{v_3 + v_4 + v_5} + \frac{1}{2} \sqrt{v_6 - v_4 - v_5 - \frac{\frac{c_3^3}{c_4^3} + \frac{4 \cdot c_2 \cdot c_3}{c_4^2} \frac{8c_1}{c_4}}{4 \sqrt{v_3 + v_4 + v_5}}}, \quad (24)$$

где

$$v_0 = 2c_2^3 - 9c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 + 27c_0 \cdot c_3^2 + 27c_1^2 \cdot c_4 - 72c_0 \cdot c_2 \cdot c_4;$$

$$v_1 = \sqrt{-4(c_2^2 - 3c_1 \cdot c_3 + 12c_0 \cdot c_4)^3 + v_1^2};$$

$$v_2 = (v_0 + v_1)^{1/3}; \quad v_3 = \frac{c_3^2}{4c_4^2} - \frac{2c_2}{3c_4};$$

$$v_4 = \sqrt[3]{2} \frac{c_2^2 - 3c_1 \cdot c_3 + 12c_0 \cdot c_4}{3c_4 \cdot v_2}$$

$$v_5 = \frac{v_2}{3\sqrt[3]{2} \cdot c_4}; \quad v_6 = \frac{c_3^2}{2c_4^2} - \frac{4c_2}{3c_4}. \quad (25)$$

В соответствии с блок-схемой (рис. 3, 4) отказ сваи S_j при нанесении j -го удара и T определяются в следующем порядке:

- по выражению (6) определяется несущая способность сваи перед нанесением удара F_{j1} ;
- по выражениям (9) и (10) определяются коэффициенты C и P ;
- по формулам (12) определяются коэффициенты c_0, c_1, c_2, c_3 ;
- по выражению (13) определяется отказ S ;
- если произошел переход через слой, то S пересчитывается по формуле (24);
- отказы сваи при нанесении ударов рассчитываются до тех пор, пока свая не будет погружена на проектную отметку H_c ;
- устанавливается чистое время погружения сваи по формуле

$$T = \frac{j}{B}, \quad (26)$$

где j – число ударов, необходимое для погружения сваи на проектную отметку или до получения проектного отказа.

Авторами составлена программа для определения отказов сваи, времени ее погружения на ПЭВМ с учетом неоднородных слоев грунта, которая используется при решении задач на практических занятиях по курсу "Технология строительства в особых условиях" и при разработке технологических карт в составе дипломного проекта на производство свайных работ.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еникеев, А.Х. Методические рекомендации по выбору молота и расчету времени погружения сваи по данным статического зондирования. – Уфа: НИИПромстрой, 1977. – 24 с.
2. Земляные сооружения, основания и фундаменты: СНиП 3.02.01-87 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 128 с.

Материал поступил в редакцию 11.03.13

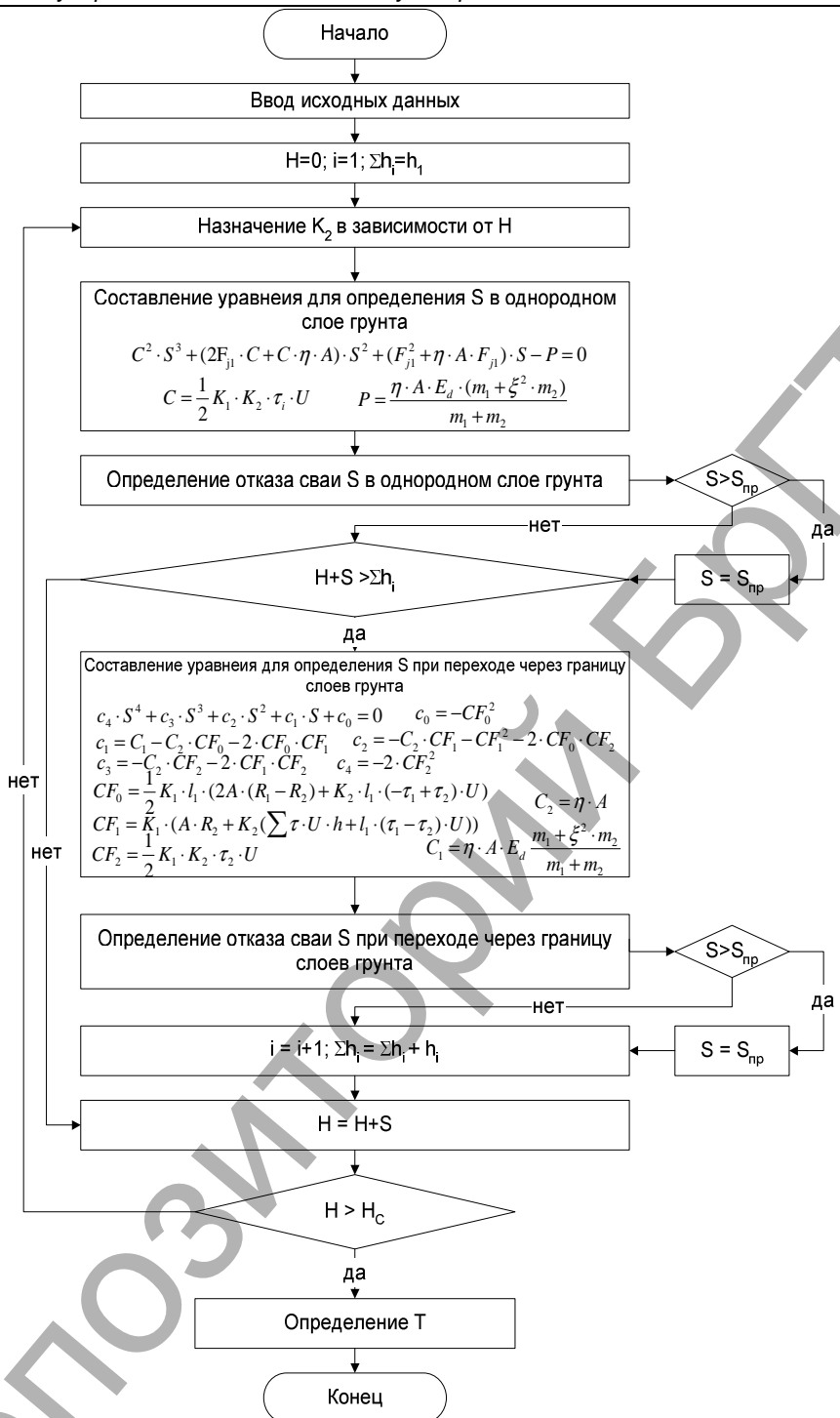


Рис. 3. Блок-схема расчета параметров погружения сваи

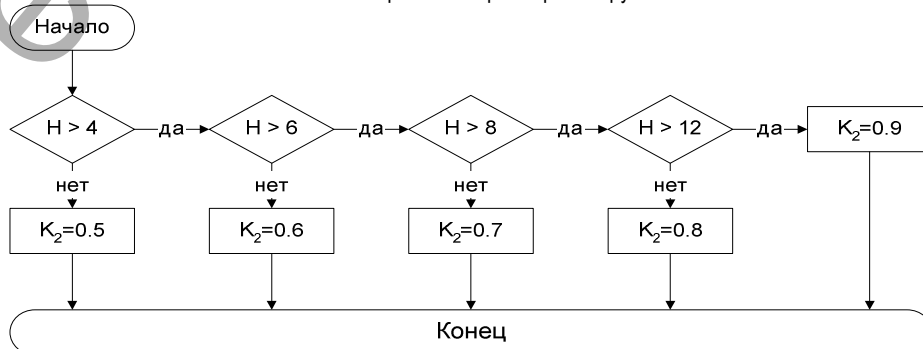


Рис. 4. Алгоритм назначения K_2

The presented technique of definition of pure time of immersion of zabivny piles at a design stage allows to reduce duration of development of technological documentation by works on the device of the pile bases.

УДК 692.232

Черноиван В.Н., Новосельцев В.Г., Черноиван Н.В.

ЭФФЕКТИВНОЕ НЕСУЩЕЕ НАРУЖНОЕ СТЕНОВОЕ ОГРАЖДЕНИЕ «ТЕРМИЧЕСКИЙ ЭКРАН»

Введение. Анализ конструктивных решений несущих наружных стен из штучных материалов показал, что за последние 15 лет при возведении жилых зданий до 9 этажей включительно в Республике Беларусь в основном применяется многослойная кирпичная кладка стен толщиной 640 мм с плитным утеплителем на гибких связях и воздушной прослойкой 50 мм [3, 4, 9]. Внутренняя верста такой кладки толщиной 380 мм выполняется из керамического рядового пустотелого утолщенного кирпича марки КРПУ-125/35(СТБ 1160-99). Наружный облицовочный слой толщиной 120 мм выполняется из кирпича лицевого пустотелого утолщенного керамического марки КЛПУ -125/35 (СТБ 1160-99) или пустотелого лицевого утолщенного силикатного по СТБ 1228-2000.

Теплоизоляционный слой, в целях снижения стоимости 1 м² наружного ограждения, как правило, проектируется из пенополистирольных плит типа ПСБС-25 (ГОСТ 15588).

При использовании пенополистирольных плит в качестве теплоизоляции для обеспечения норм пожарной безопасности не более чем через 6 метров устраиваются вертикальные противопожарные пояса из керамзитобетона.

Между плитным утеплителем и наружным облицовочным слоем устраивается постоянно вентилируемая воздушная прослойка, толщиной не менее 50 мм. Эффективная работа вентилируемой воздушной прослойки должна осуществляться за счет не заполненных кладочным раствором вертикальных швов в наружном облицовочном слое кладки.

Для закрепления плитного утеплителя в проектное положение и предотвращения в процессе эксплуатации зданий отклонения наружного облицовочного слоя от вертикали применяют стеклопластиковые связи длиной 580 мм, диаметром 6 мм (СТБ 1103). Среднее количество связей на 1 м² стены - не менее 6 шт.

Следует отметить, что возведение многослойной кирпичной кладки является достаточно трудоемким ручным технологическим процессом: затраты труда на 1 м³ конструкции стены составляют 7,4...8,2 чел.-час [3].

Анализ конструктивного решения многослойной кирпичной кладки со стеклопластиковыми связями с утеплением плитным утеплителем, примыкающим без зазора к внутренней версте кладки, позволяет сделать вывод, что такая конструкция наружной стены неоправданно материалоемка. Основная причина высокой материалоемкости многослойной кирпичной кладки заключается в том, что воздушная прослойка между слоем плитного утеплителя и наружной верстой кладки является постоянно вентилируемой, и в связи с этим наружный облицовочный слой толщиной 120 мм (64 кирпича на 1 м³ кладки) не учитывается при теплотехнических расчетах стенового ограждения.

Теплотехнические расчеты многослойной кирпичной кладки с теплоизоляционным слоем из пенополистирольных плит толщиной 100 мм, выполненные согласно ТКП 45-2.04-43-2006 [1] (при влажности материалов кладки не более 4%), показали, что термическое сопротивление теплопередаче такой ограждающей конструкции около 2,5 м²°С/Вт.

Натурные исследования эксплуатируемого стенового ограждения. Для оценки эксплуатационных качеств многослойной кирпичной кладки с теплоизоляционным слоем из пенополистироль-

ных плит в мае 2012 года были проведены натурные исследования технического состояния наружных стен жилого дома по ул. Жукова №10 в г. Бресте, который эксплуатируется около 12 лет.

По результатам вскрытия кладки установлено, что на участках стен, имеющих деформации, вызванные неравномерной осадкой фундаментов, между плитным утеплителем и внутренней верстой кирпичной кладки образовался зазор около 25 мм. Основной причиной появления данного дефекта является низкая прочность пенополистирола на срез. Очевидно, что образовавшийся дефект многослойной кирпичной кладки приведет к существенному снижению теплотехнических характеристик наружного ограждения в целом.

На эксплуатируемом жилом доме по ул. Жукова №10 в г. Бресте также были выполнены исследования по оценке эффективности работы вентилируемой воздушной прослойки. Натурные исследования включали в себя измерения фактических значений влажности воздуха в воздушной прослойке, а также в пустотах (щелях) кирпича внутренней версты кладки. Результаты замеров, выполненные с помощью портативного термогигрометра марки ТГУ - МГ4, позволили установить, что:

- влажность воздуха в воздушной прослойке около 45%;
- влажность воздуха в пустотах (щелях) кирпича внутренней версты кладки близка 35%.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Многослойная кирпичная кладка толщиной 640 мм с утеплителем полистирольными плитами на гибких связях и воздушной прослойкой 50 мм является трудоемким и материалоемким конструктивным решением несущих стен.

2. Вентилируемая воздушная прослойка, расположенная между плитным утеплителем и облицовкой из кирпичной кладки, не обеспечивает отвод эксплуатационной влаги из материалов внутренней версты кладки наружного ограждения зданий и сооружений. Зафиксированная влажность воздуха в пустотах (щелях) кирпича внутренней версты кладки близка 35%, что, по всей видимости, привело к снижению термического сопротивления теплопередаче многослойной кирпичной кладки. (Натурные исследования по определению величины фактического термического сопротивления теплопередаче наружных стен эксплуатируемого жилого дома по ул. Жукова №10 в г. Бресте запланированы на январь-февраль 2013 года.)

Увеличение в 2009 году нормативного сопротивления теплопередаче наружных стен жилых и общественных зданий в 1,6 раза до 3,2 м²°С/Вт [2] привело к корректировке конструкции многослойной кирпичной кладки:

- минимальная толщина плитного утеплителя марки ПСБС-25 увеличилась до 140 мм;
- полная толщина конструкции многослойной кладки соответственно достигла 690 мм.

Изменение толщины многослойной кирпичной кладки несущих наружных стен до 690 мм, при максимальной ширине выпускаемых сборных блоков стен фундамента 600 мм, привело к необходимости выполнять на стройплощадке дополнительные работы по уширению обреза фундамента и, как следствие этого, к дополнительному увеличению трудоемкости и материалоемкости кладки.

Кроме того, учитывая, что термическое сопротивление теплопе-

Черноиван Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

Новосельцев Владимир Геннадьевич, кандидат технических наук, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

Черноиван Николай Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

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