

Общество с ограниченной ответственностью

«Кадегис», Технопарк Сколково

Расчет мощности и параметров провода ПНСВ для прогрева бетона в зимнее время

(демонстрационная версия)

Руководитель:

к.ф.-м.н

Резаев Р.О.

«Москва 2014»

Содержание

1. Техническое задание.....	3
2. Описание.....	4
3. Аннотация отчета.....	7
4. Двухфазное подключение. Схема раскладки.....	8
5. Трехфазное подключение. Схема раскладки.....	10
6. Расчет требуемых характеристик.....	11

Техническое задание

Исходные данные:

- марка (класс) бетона: B25 (300)
- требуемая прочность к моменту окончания прогрева: $50\%R_{28}$
- вид и марка цемента: портландцемент М400
- расход цемента: 300 кг/м^3
- бетонизируемая конструкция: смотри рисунок 1
- основание конструкции: замороженная песчано-гравийная смесь (отрицательная температура)
- дополнительная теплоизоляция: открытые горизонтальные поверхности после окончания бетонирования закрываются битуминизированной бумагой и засыпаются слоем опилок 10 – 15 см
- опалубка: деревянная щитовая, толщина доски – 40 мм
- начальная температура бетонной смеси: $+10^\circ\text{C}$

Требуется рассчитать схему прогрева конструкции: длину и укладку провода ПНСВ, схему подключения ПНСВ к трансформатору, мощность и количество трансформаторов, необходимых для прогрева при различной температуре.

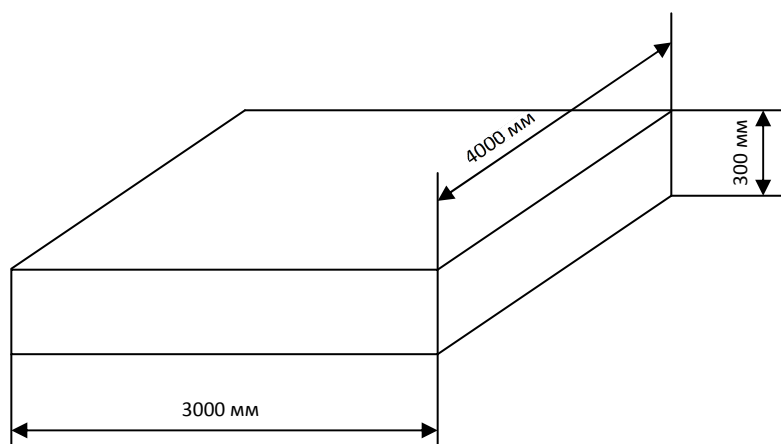


Рисунок 1. Бетонируемая конструкция: плоский фундамент

Описание

Прогрев бетонной конструкции с использованием нагревательного провода является простым и дешевым способом обеспечить требуемые для затвердевания бетона условия при его укладке в [зимнее время](#) (когда температура опускается ниже -5°C). Суть метода заключается в следующем: отрезок провода равномерно распределяют внутри бетонной конструкции (до [заливки бетона](#), наматывая провод на арматуру) и концы провода подключают к трансформатору, который является источником тока. Этот ток при прохождении через провод нагревает его и тепло передается бетону, тем самым обеспечивая нужную температуру. Данный процесс наглядно проиллюстрирован на рисунке 2.



Рисунок 2. Пример укладки нагревательного провода до заливки бетона

После того, как бетон застыл, провод остается внутри. Для того, чтобы прогрев бетона не превратился в пустую трату денег и был эффективным, его нужно осуществлять в соответствии с определенными параметрами:

- нужно знать какая должна быть длина нагревательного провода – для каждой конкретной конструкции и температуры она своя и зависит от большого числа параметров
- нужно знать какую мощность подавать на нагревательный провод, соответственно, нужно правильно выбрать трансформатор, чтобы он справился с возможными

отклонениями от прогнозируемых значений температур. Например, если провод рассчитали на прогрев при температуре -15°C , которая неожиданно упала до -20°C , то нужно переключить трансформатор на 4-ю ступень (с 75В на 85В) в случае КТПТО-80

- нужно правильно подключить нагревательный провод к трансформатору. Как правило, расчетная длина провода составляет несколько сотен метров и, если концы этого провода просто подсоединить к трансформатору (например, на 75В), то нужного эффекта добиться не получится. Чтобы в бетоне выделялась необходимая мощность, нужно нагревательный провод разрезать на отрезки определенной длины и уже после этого каждый отрезок подключать к трансформатору. Кроме того, каждый отрезок нужно уложить определенным образом в конструкции, чтобы не было местных участков перегрева или переохлаждения.

Технология прогрева бетона должна быть приведена в технологической карте, однако, зачастую составители карт подходят к этому вопросу формально и это материал в должной степени не излагается. Данный отчет предназначен для ответа на поставленные выше вопросы, связанные с параметрами прогрева конструкции. Технология проведения работ и техника безопасности должны выполняться в соответствии с инструкциями по монтажу электротехнических устройств. Прогрев бетона должен осуществлять профессиональный электрик.

Для начала работ по прогреву бетона необходимо:

1. На странице 7 отчета (**Аннотация отчета**) выбрать примерно температуру и скорость ветра на местности, в которой будет проводиться укладка бетона. Как правило, эти прогнозные данные можно узнать на местной метеостанции. В соответствии с прогнозируемой температурой и скоростью ветра, выбрать из **таблиц 1, 2** или **3** необходимое количество трансформаторов и длину провода **ПНСВ-1.2** (диаметр 1,2 мм)
2. Определиться с тем, какую схему подключения провода будете использовать: двухфазная – концы одного отрезка провода подсоединяются к разным фазам, или трехфазная – концы трех отрезков провода соединяются в один, а противоположные концы присоединяются каждый к разным фазам. **Двухфазная схема** приведена на рисунке 3, на странице 8 данного отчета. **Трехфазная схема** приведена на рисунке 4 на странице 10 данного отчета

3. Если выбрали **двухфазную схему подключения** – нужно разрезать нагревательный провод на отрезки **длины 31 метр** каждый и уложить их на арматуру в соответствии с рисунком 3 (вид сверху)
4. Если выбрали **трехфазную схему подключения** – нужно разрезать нагревательный провод на отрезки **длиной 17 метров** каждый, затем эти отрезки объединить в группы по три, соединив один конец каждого отрезка в общую точку между тремя отрезками (см. вверху страницы 10 данного отчета), и уложить их на арматуру в соответствии с рисунком 4 (вид сверху)
5. Осуществить монтаж схемы в соответствии с техникой безопасности и технологией проведения электромонтажных работ
6. После заливки бетона следует включить трансформатор и поставить напряжение на **95В** – бетон необходимо нагреть до температуры 55°C. Расчетное время разогрева составляет **5 часов** при температуре минус 15°C, **6 часов** при температуре минус 20°C, **7 часов** при температуре минус 25°C и **8 часов**, соответственно, при температуре минус 30°C.
7. После разогрева необходимо переключить напряжение на трансформаторе на **75В** – режим изотермического прогрева. Расчетная длительность данного режима также составляет **5 часов**. На этой стадии температура бетона будет поддерживаться на уровне 55°C. В случае, если наружная температура опустилась ниже на 5°C, чем вы ожидали (например, по прогнозам должна быть – 15°C, а в реальности оказалась – 20°C), то напряжение на трансформаторе следует поставить **85В** и длительность прогрева составит **6 часов**, если опустилась на 10°C, то напряжение на трансформаторе необходимо поставить **95В** и длительность изотермического прогрева увеличится до **7 часов**.
8. После окончания изотермического прогрева необходимо выдержать стадию остывания конструкции для достижения необходимого набора прочности. Стадия остывания составляет **80 часов** при температуре минус 15°C, **35 часов** при температуре минус 20°C и **30 часов** при температуре минус 25°C. Итоговое время – **90 часов** (при наружной температуре –15°C).
9. При необходимости время набора прочности на стадии остывания можно сократить до **10 часов**, для этого потребуются продолжить изотермический прогрев при температуре 55°C. Итоговое время – **20 часов** (при наружной температуре –15°C)

Аннотация отчета

Для прогрева конструкции, указанной в техническом задании, потребуется:

ТАБЛИЦА 1

*Скорость ветра - 0 м/с,
разогрев - напряжение 95В, прогрев – напряжение 75В*

Температура, °С	Трансформатор, шт, кВА	Провод ПНСВ-1.2, м
-5	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	124
-10	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	124
-15	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	124
-20	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	124
-25	2 шт, 80 кВА, КТПТО-80	186
-30	2 шт, 80 кВА, КТПТО-80	186

ТАБЛИЦА 2

*Скорость ветра - 5 м/с,
разогрев - напряжение 95В, прогрев – напряжение 75В*

Температура, °С	Трансформатор, шт, кВА	Провод ПНСВ-1.2, м
-5	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	155
-10	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	155
-15	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	155
-20	2 шт, 80 кВА, КТПТО-80	186
-25	2 шт, 80 кВА, КТПТО-80	186
-30	2 шт, 80 кВА, КТПТО-80	217

ТАБЛИЦА 3

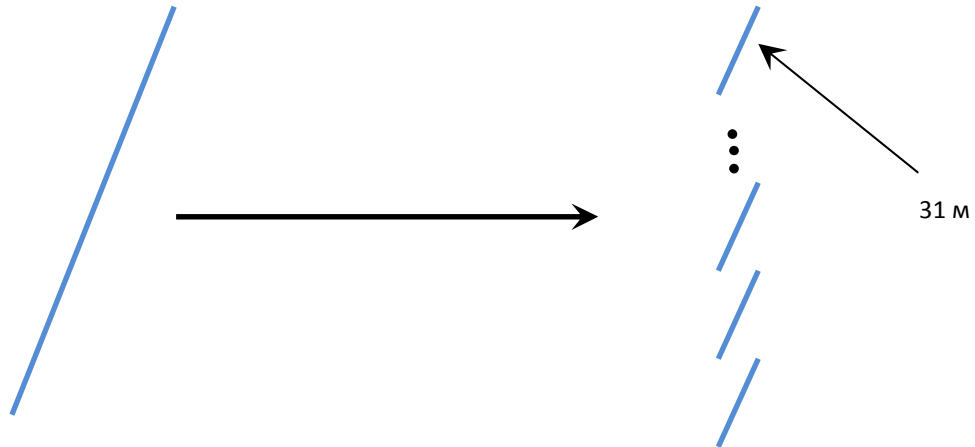
*Скорость ветра - 15 м/с,
разогрев - напряжение 95В, прогрев – напряжение 75В*

Температура, °С	Трансформатор, шт, кВА	Провод ПНСВ-1.2, м
-5	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	155
-10	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	155
-15	1 шт, 80 кВА, КТПТО-80	155
-20	2 шт, 80 кВА, КТПТО-80	186
-25	2 шт, 80 кВА, КТПТО-80	217
-30	3 шт, 80 кВА, КТПТО-80	268

Двухфазное подключение. Схема раскладки

Скорость ветра - 0 м/с, Наружная температура: - 5°C, - 10°C, - 15°C, - 20°C

1. Разрезать провод ПНСВ-1.2 на отрезки каждый длиной 31 м:



2. Разложить каждый отрезок провода равномерно внутри бетонной конструкции, концы подключить через провод АПВ

Вид сверху

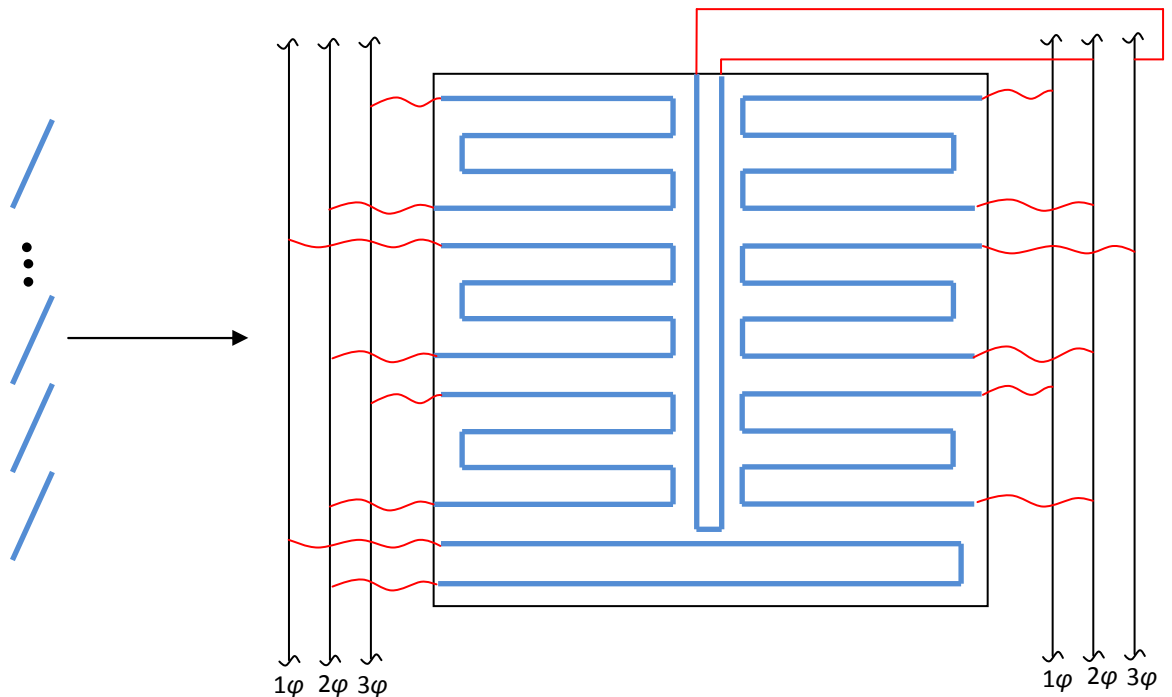


Рисунок 3. Двухфазная схема подключения отрезков: синие линии - провод ПНСВ-1.2, красные линии – подключение к фазам (провод АПВ). Количественные размеры указаны в детализированном отчете.

Скорость ветра - 0 м/с, Наружная температура: - 25°C, - 30°C

(Детализированный отчет, аналогично – см. выше)

Скорость ветра - 5 м/с, Наружная температура: - 5°C, - 10°C, - 15°C

(Детализированный отчет, аналогично – см. выше)

Скорость ветра - 5 м/с, Наружная температура: - 20°C, - 25°C

(Детализированный отчет, аналогично – см. выше)

Скорость ветра - 5 м/с, Наружная температура: - 30°C

(Детализированный отчет, аналогично – см. выше)

Скорость ветра - 15 м/с, Наружная температура: - 5°C, - 10°C, - 15°C

(Детализированный отчет, аналогично – см. выше)

Скорость ветра - 15 м/с, Наружная температура: - 20°C

(Детализированный отчет, аналогично – см. выше)

Скорость ветра - 15 м/с, Наружная температура: - 25°C

(Детализированный отчет, аналогично – см. выше)

Скорость ветра - 15 м/с, Наружная температура: - 30°C

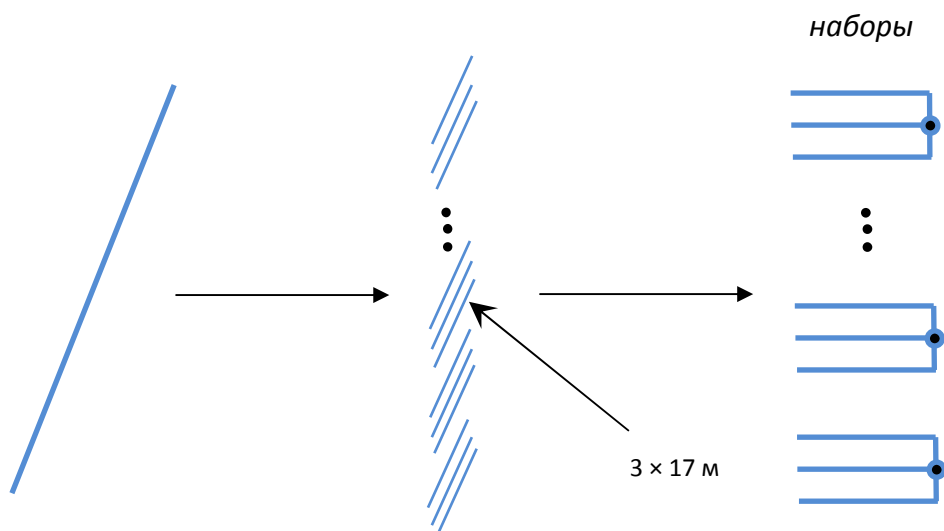
(Детализированный отчет, аналогично – см. выше)

Трехфазное подключение.

Схема раскладки

Скорость ветра - 0 м/с, Наружная температура: - 5°C, - 10°C, - 15°C, - 20°C

1. Разрезать провод ПНСВ-1.2 на отрезки каждый длиной 17 м и далее собрать наборы из трех отрезков, концы которых соединены



2. Разложить каждый набор равномерно внутри бетонной конструкции, концы подключить через провод АПВ к фазам трансформатора

Вид сверху

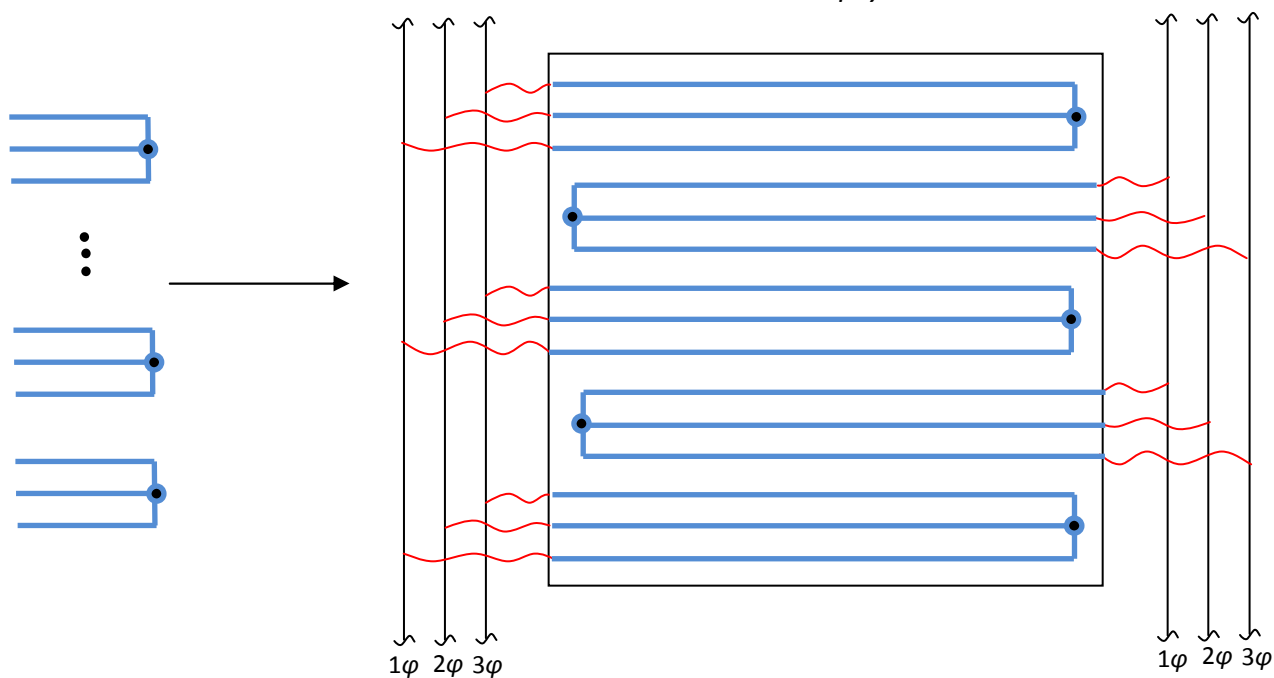


Рисунок 4. Трехфазная схема подключения отрезков: синие линии - провод ПНСВ-1.2, красные линии – подключение к фазам (провод АПВ). Количественные размеры указаны в детализированном отчете.

Расчет требуемых характеристик

(детализированная версия с расшифровками и пояснениями в оригинале)

Фиксируем температуру окружающей среды $T_{outside} = -15^{\circ}\text{C}$, скорость ветра $v = 0 \text{ м/с}$

1. Модуль поверхности конструкции

$$M_p = \frac{S}{V} = 7,8 \text{ м}^{-1}$$

2. По модулю поверхности определяем предварительно режим прогрева – подъем температуры (разогрев), изотермическое выдерживание, остывание
3. Максимальная допустимая скорость подъема температуры – 10°C/ч
4. Задаем температуру изотермического прогрева – $T_p = 50^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$
5. Время разогрева $\tau = 5$ часов
6. Время остывания определяем по формуле (Скрамтаева-Миронова, пояснения к формуле даны в детализированном отчете)

$$\tau = \frac{C\gamma t_{initial} + qw}{3,6KM_p((t) - t_{outside})}, \tau = 80 \text{ часов}$$

7. По графику (детализированный отчет) интенсивности нарастания прочности бетона марки 400 определяем длительность изотермического прогрева $\tau_p = 5$ часов
8. Определяем удельную мощность изотермического прогрева (пояснения к формуле даны в детализированном отчете)

$$P_h = \frac{KM_p(T_p - T_{outside})}{1000} - \frac{qw}{3600 \tau_p}$$
$$P_h = 0,8 \text{ кВт/м}^3$$

9. Определяем удельную мощность, требуемую на период разогрева (пояснения к формуле даны в детализированном отчете)

$$P_p = \frac{C\gamma(T_p - T_{initial})}{3600 \tau} + \frac{\sum C_i \gamma_i \delta_i M_p (T_p - T_{initial})}{7200 \tau} + \frac{KM_p(T_p + T_{initial} - 2T_{outside})}{2000}$$
$$- \frac{qw}{3600 \tau}$$
$$P_p = 2,0 \text{ кВт/м}^3$$

10. Определяем суммарную полную мощность, необходимую для прогрева данной конструкции

$$P_{total}^1 = V P_p = 9,6 \text{ кВт}$$

$$P_{total}^2 = V P_h = 3,8 \text{ кВт}$$

11. Зададим рабочий режим прогрева – линейное напряжение (между фазами) на трансформаторе = 75 В, сила тока через отрезок провода ПНСВ-1.2 – 14 А. Тогда для мощности погонного метра в 35 Вт/м на потребуется 124 метра провода.
12. Повторить цикл вычислений для других значений температур и скоростей ветра

Для просмотра детального содержания данного отчета обращайтесь к его авторам. По вашему запросу может быть составлен отчет, содержащий необходимую вам информацию. Заказ расчета осуществляется по электронному адресу (вам будет выслан образец технического задания на расчет, который нужно будет заполнить):

contact@cadeqis.com

Расчет параметров прогрева бетона осуществляется специалистами компании [«Кадегис»](http://www.cadeqis.com), являющейся [резидентом технопарка Сколково](http://www.skolkovopark.ru). Компания специализируется на разработке математических методов моделирования промышленных задач, в частности, по теме, связанной со строительными технологиями.

Юридический адрес компании:

127006, г. Москва, ул. Садовая-Триумфальная, д. 16, стр. 3-1

Веб-сайт: www.cadeqis.com

Контакты: contact@cadeqis.com, контактное лицо – Резаев Роман Олегович

тел. 8 917 576 1029