

**Болотских Н.С., Болотских Н.Н.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
(ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002, Украина; E-mail: tgviver@gmail.com; orcid.org/0000-0003-0756-7264,  
orcid.org/0000-0002-7756-6550)*

## ЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДОГРЕВА НЕФТЕПРОДУКТОВ В РЕЗЕРВУАРАХ

Приведена классификация существующих способов и технических средств подогрева продуктов нефтепереработки, дано описание конструкций и принципа действия эффективных металлических и стеклопластиковых электрических нагревателей, приведены их технические характеристики, изложены особенности монтажа и эксплуатации в различных условиях, даны научно-обоснованные рекомендации по их выбору и дальнейшему эффективному применению на различных предприятиях.

**Ключевые слова:** подогрев нефтепродуктов, электрические подогреватели, врезные, погружные и проточные нагреватели.

**Введение.** В результате переработки нефти получают различные продукты, которые условно делятся на две категории: светлые и темные. Кинематическая вязкость светлых продуктов (например, бензина) практически не зависит от термической составляющей окружающей среды. Они легко поддаются транспортировке в трубопроводах во все сезоны года. Темные нефтепродукты (например, мазут) при пониженных температурах становятся более вязкими. Они утрачивают текучесть. Разливать и транспортировать их без подогрева практически не представляется возможным.

Для поддержания эксплуатационных свойств темных нефтепродуктов (мазута, минеральных масел, дизельного топлива, битума, гудрона и др.) и предотвращения загустения на практике их подогревают с использованием следующих теплоносителей: водяной пар, горячая вода, горячие газы и продукты нефтепереработки, электричество [1].

На нефтеперерабатывающих и других предприятиях для этих целей чаще всего используется водяной пар, который имеет высокие содержание тепла и теплопередачу. Кроме того, он легко доставляется к нагревателям и не представляет опасности возгорания нефтепродуктов. С помощью насыщенного водяного пара при давлении  $0,3 \div 0,4$  МПа обеспечивается нагрев нефтепродуктов до  $80 \div 90$  °С. Подогрев с помощью водяного пара осуществляется

двумя способами: а) с применением открытого горячего пара; б) с использованием специальных трубчатых нагревателей. Способ с применением открытого горячего насыщенного пара заключается в подаче его непосредственно в нефтепродукт, в котором он конденсируется и отдает материалу необходимое тепло. Такой метод используется, например, для подогрева мазута при сливе его из железнодорожных цистерн. Недостатком такого способа является необходимость последующего удаления воды из нефтепродукта. Подогрев с применением трубчатых нагревателей отличается тем, что передача тепла нагреваемому продукту от водяного пара осуществляется через стенки труб нагревателя. При этом отсутствует прямой контакт пара с нефтепродуктом. После передачи тепла нефтепродукту конденсированный пар отводится по трубам наружу. При этом появление лишней жидкости в нефтепродукте исключается.

Способ нагрева нефтепродуктов с применением горячей воды используется не часто. Он применим только в случаях наличия в большом количестве на месте подогрева горячей воды. Кроме того, содержание тепла в горячей воде почти в 6 раз меньше, чем у насыщенного пара.

Подогрев нефтепродуктов с применением горячих газов используется ограничено в танкерах и трубчатых нагревателях на нефтеперерабатывающих заводах из-за малых значений их теплоемкости и

плохой теплопередачи, а также из-за сложности организации сбора.

Горячие продукты нефтепереработки используются для подогрева только в случаях применения циркуляционного способа, при котором нагрев нефтепродукта осуществляется тем же нефтепродуктом (за счет циркуляции) на крупных нефтебазах.

Как показала практика, самым эффективным теплоносителем в системах обогрева нефтепродуктов является электричество. В связи с этим для подогрева нефтепродуктов в последние годы все большее распространение получают электрические нагреватели. При строгом соблюдении требований пожаробезопасности такие нагреватели обеспечивают равномерный и качественный подогрев нефтепродуктов без образования конденсата [2]. Они особенно эффективны и надежны при подогреве нефтепродуктов, имеющих высокую температуру вспышки. Ввиду разнообразия свойств различных нефтепродуктов, а также способов их транспортирования и хранения, для подогрева на практике используется несколько типов и моделей электрических нагревателей. Их выпуском и поставкой на различные рынки занимается значительное количество отечественных и зарубежных компаний, в том числе: "ИНТ-МАКС" и "ТЭН 24" (Украина), "ELCER" (Польша), "ЭЛЕКТРОНАГРЕВ", "ТД САРРЗ" и "ЭЛЕМАГ" (Россия) и ряд других.

Настоящая статья посвящается обобщению передового опыта создания и применения эффективных электрических нагревателей нефтепродуктов.

**Целью настоящего исследования** является разработка научно-обоснованных рекомендаций по дальнейшему расширению области применения энергоэффективных электрических нагревателей нефтепродуктов в Украине.

**Основное содержание.** Для подогрева нефтепродуктов в настоящее время в мировой практике используются следующие типы электрических нагревателей: врезные, погружные и проточные. Они бывают металлическими и

стеклопластиковыми. Для подогрева взрывоопасных жидких нефтепродуктов врезные и погружные металлические нагреватели выпускаются также и во взрывозащищенном исполнении. Ниже приводится подробное описание различных типов электрических нагревателей (их устройство и назначение, принцип работы, основные параметры, достоинства и недостатки, особенности монтажа и эксплуатации и др.).

Врезные нагреватели [3] применяются для разогрева и поддержания оптимальных температур вязких нефтепродуктов при длительном их хранении. Эти нагреватели называют врезными из-за того, что их монтаж производится в предварительно проделанных отверстиях в боковых стенках резервуаров. При этом наружная часть нагревательного устройства и клеммная коробка располагаются на внешней стороне резервуара, а нагревательные трубы непосредственно внутри. Монтаж таких нагревателей на стенке резервуара осуществляется с помощью фланцевых соединений либо с использованием сварки. На рис. 1 показано размещение врезных нагревателей на стенках стационарных цилиндрических резервуаров с креплением их с помощью фланцевых соединений.

Врезные нагреватели, применяемые для подогрева и поддержания температуры мазута, минеральных масел, битума, гудрона и других нефтепродуктов, состоят из следующих основных компонентов: корпусов, греющих труб, соединительных коробов и клеммных коробок. Внутри каждой греющей трубы размещается керамический нагревательный элемент с нихромовой проволокой. За счет использования различного количества греющих труб в каждом конкретном случае обеспечивается требуемая скорость нагрева нефтепродукта в резервуаре.



Рис. 1. Размещение наружных частей врезных металлических нагревателей на внешних сторонах резервуаров

На рис.2 представлена принципиальная схема устройства врезного металлического нагревателя.

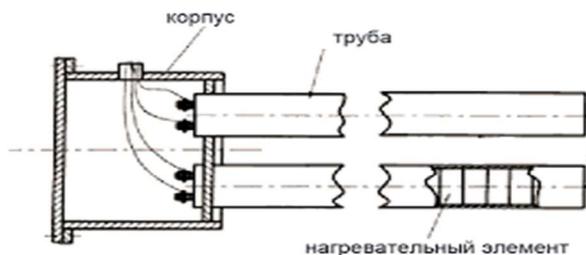


Рис. 2. Принципиальная схема устройства врезного металлического нагревателя нефтепродуктов.

Компания "ИНТМАКС" [3] выпускает 10 типов врезных нагревателей нефтепродуктов модели "НВ". Их мощности находятся в пределах от 6 до 54 кВт. Удельная мощность нагревателей при этом составляет  $0,5 \div 1,2$  Вт/см<sup>2</sup>. Количество нагревательных труб –  $1 \div 9$  штук. Длина нагревателей находится в пределах

от 1000 до 3200 мм, а их масса – от 30 до 200 кг. Ресурс рабочего времени нагревателей составляет в среднем 15000 часов. Длины и количество труб в одном врезном нагревателе зависят от мощности и подбираются индивидуально. Для подогрева битума в цистернах и различных емкостях компанией "ИНТМАКС" выпускается также 10 типов врезных нагревателей модели "НБВ" [4], в которых смонтировано от 1 до 6 трубчатых нагревательных элементов. Их конструкции позволяют без освобождения цистерны от нефтепродукта производить замену вышедшего из строя керамического нагревательного элемента или выполнить плановый осмотр нагревательного устройства. Врезные нагреватели моделей НВ и НБВ обеспечивают постоянный подогрев нефтепродуктов при температурах воздуха от  $-40$  °С до  $+40$  °С. Контроль температуры и времени нагрева осуществляется при помощи специального терморегулятора.

Погружные нагреватели [5] предназначены для временного разогрева вязких нефтепродуктов в стационарных резервуарах, а также в подвижных цистернах, баках и других емкостях в случаях, когда установка врезных нагревателей по различным причинам не выполнена. Конструкция погружного нагревателя включает в себя фланец и нагревательную трубу с керамическим сердечником, по которому проходит нихромовая спираль. Длина каждой нагревательной трубы может варьироваться от 1 до 3 метров в зависимости от мощности нагревателя. Благодаря керамическому нагревательному элементу с изоляционными блоками из керамики формируется большая поверхность теплообмена.

Принцип работы погружного нагревателя заключается в следующем. Нагрев происходит за счет передачи тепла от керамического сердечника металлической поверхности трубы, а затем нефтепродукту, в который погружен нагреватель. Контроль температуры нагрева и формирования слоя нагара осуществляются с помощью терморегулирующих приборов, которые устанавливаются на трубу нагревателя (на расстоянии более  $30 \div 40$  см).

Использование терморегулятора исключает перегрев нефтепродукта. Для установки терморегулятора на блоке погружного нагревателя устанавливается специальная гильза.

Компания "ИНТМАКС" выпускает десять типов металлических погружных нагревателей нефтепродуктов модели "НП". Эти нагреватели имеют мощность в пределах от 6 до 54 кВт. Их удельная мощность составляет  $0,5 \div 2,0$  Вт/см<sup>2</sup>. Нагреватели комплектуются греющими трубами в количестве от 1 до 9 штук. Их максимальный наружный диаметр составляет 340 мм. Срок эксплуатации погружного нагревателя составляет 8 лет при соблюдении правил монтажа и эксплуатации. Для разогрева битума компания "ИНТМАКС" выпускает также 10 типов погружных нагревателей модели "НБП". Эти нагреватели имеют удельную мощность в пределах от 0,5 до 1,2 Вт/см<sup>2</sup>. Оптимальной областью применения погружных нагревателей моделей "НП" и "НБП" является: нагрев нефтепродуктов в углубленных или подземных (закрытых или открытых) резервуарах; прогрев жидких нефтепродуктов в железнодорожных и автоцистернах перед транспортировкой; обогрев хранилищ при их чистке от нефтепродуктов.

Проточные нагреватели предназначены для быстрого нагрева нефтепродуктов. Они работают в циркуляционном (постоянном) либо в промежуточном режимах. Конструкции таких нагревателей выполняются как для горизонтально, так и вертикально расположенных резервуаров. Их принцип работы – проточный, при котором нефтепродукт проходит внутри подогревателя и поступает дальше в технологическую цепочку на объекте. Компаниями "ИНТМАКС" [6] и "ЭЛЕКТРО-НАГРЕВ" [7] выпускаются проточные (циркуляционные) нагреватели для подогрева вязких нефтепродуктов. Их конструкции представляют собой вертикальные или горизонтальные сосуды с отверстиями для входа/выхода нагреваемого материала и с расположенными внутри керамическими сухими ТЭНами, помещенными в металлические колбы. В зависимости от производственной задачи

нагреватели могут быть подключены последовательно или параллельно. При работе проточных нагревателей материал поступает через входные отверстия внутрь сосуда и, проходя через нагревательные элементы, прогревается и затем через патрубок выходит наружу. При этом температура нагрева зависит от типа подогреваемого материала, скорости его движения внутри сосуда и мощности нагревателя. Мощности таких проточных (циркуляционных) нагревателей находятся в пределах от 2 до 72 кВт. Блок ТЭНов может состоять из связки 1-4 нагревателей. Такие нагреватели могут использоваться при температурах окружающей среды от  $-60$  °С до  $+50$  °С. Их средний ресурс рабочего времени – 15000 часов.

Компания "ТД САРРЗ" [8, 9] поставляет специальные одно- и двухсекционные проточные подогреватели модели МЭК, предназначенные для нагрева нефтепродуктов в технологических целях на нефтеперерабатывающих и добывающих предприятиях. Односекционные проточные нагреватели модели МЭК [8] представляют собой горизонтальные емкости объемом до 3 м<sup>3</sup>, работающие под высоким давлением. На рис. 3, для примера, приведен общий вид односекционного проточного подогревателя модели МЭК.

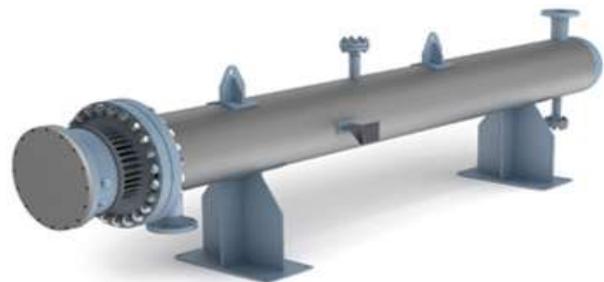


Рис.3. Общий вид проточного односекционного подогревателя нефтепродуктов

Внутри емкости такого подогревателя установлен электронагревательный элемент, помещенный в специальную оболочку. Для производства оболочки нагревательных элементов используются материалы с высокой степенью механической прочности, например, керамика, медь, титан и другие. Нагревательные элементы

изготовлены во взрывозащищенном исполнении, что обеспечивает взрыво- и пожарную безопасность на объекте. Взрывозащита реализована в специальной конструкции нагревательных элементов, которые помещены во взрывонепроницаемую оболочку, способную выдержать нагрузки в случае взрыва. Эта же оболочка позволяет не контактировать электронагревателям с рабочей средой, что продлевает срок эксплуатации оборудования. Температурный режим контролируется термовыключателями. Односекционные проточные подогреватели нефтепродуктов выпускаются 18 типоразмеров с номинальными мощностями в пределах от 2 до 54 кВт. Их удельная поверхностная мощность составляет 1,1 Вт/см<sup>2</sup>.

Двухсекционные проточные подогреватели [9] незаменимы для нагрева битума, мазута или дизельного топлива перед их транспортировкой или перед подачей в котлы. Эти подогреватели являются более мощными устройствами в сравнении с односекционными. Их мощности находятся в пределах от 72 до 144 кВт. Масса подогревателей находится в пределах от 680 до 1060 кг. Управление двухсекционными проточными подогревателями осуществляется в автоматическом режиме с возможностью дистанционного регулирования температуры нагрева.

Весьма перспективным и эффективным является применение систем стеклопластиковых нагревателей [10, 11 и 12] для подогрева различных нефтепродуктов. Основой таких нагревателей являются стеклопластиковые трубы с нагревательными элементами из углеродистого волокна (Рис. 4).



Рис.4. Основные элементы стеклопластикового нагревателя нефтепродуктов [13]

Стеклопластиковые трубы для нагревателей получают методом намотки с использованием стекловолокна и органических связующих. В качестве нагревательного элемента используется углеродистый волокнистый материал, размещаемый внутри трубы. Такой нагревательный элемент обладает значительно большей поверхностью теплообмена (на 2 ÷ 3 порядка), чем у металлических (нихромовых) нагревателей. Конструкция такого нагревателя уникальна и запатентована [10, 12].

Компании "ИНТМАКС" [10] и "ООО ЭЛКАД" [12] выпускают стеклопластиковые нагреватели со следующими техническими характеристиками: максимальная температура нагрева – 250 °С; толщина стенки нагревателя – 4 ÷ 6 мм; длина – 2500 и 1250 мм; внутренний диаметр – 150 мм; мощность – 8 и 4 кВт; напряжение питания – 220 В; удельная мощность – 0,62 Вт/см<sup>2</sup>; масса – 5 ÷ 7 и 3 ÷ 5 кг. Эти компании производят также стеклопластиковые нагреватели по индивидуальным размерам и с другими значениями мощностей и напряжений питания.

Компанией «ЭЛЕМАГ» [11] выпускаются погружные стеклопластиковые подогреватели нефтепродуктов, находящихся в стационарных резервуарах, а также в железнодорожных и автомобильных цистернах. Стандартные модели таких стеклопластиковых погружных нагревателей имеют мощности 4 и 8 Вт. Их длина, соответственно, составляет 1 и 2 м. Внутренний диаметр стеклопластиковых труб равен 150 мм, а толщина их стенок 5 мм. Максимальная температура нагрева составляет 230 ÷ 250 °С. На рис. 5 показаны общие виды стационарных резервуаров, оборудованных стеклопластиковыми погружными нагревателями.

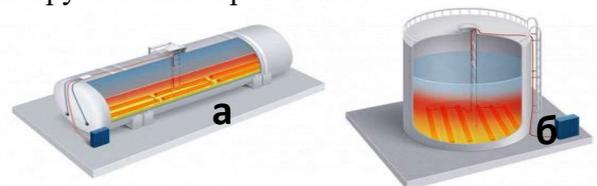


Рис. 5. Подогрев нефтепродуктов в стационарных горизонтальных (а) и вертикальных (б) резервуарах с помощью стеклопластиковых погружных нагревателей

Для подогрева нефтепродуктов в цистернах компанией «ЭЛЕМАГ» выпускаются также специальные раскладные системы с погружными стеклопластиковыми нагревателями. Эти системы включают в себя стеклопластиковые нагреватели, прикрепленные шарнирно к штанге. В сложенном состоянии они через люк опускаются в цистерну, закрепляются в верхней её части и раскрываются. При этом в нижней части цистерны получается ряд подогревателей длиной 5,5 м. После нагрева нефтепродукта система складывается и через люк вытаскивается наружу. На рис. 6 показана последовательность монтажа такой раскладной системы подогрева нефтепродуктов в цистернах.

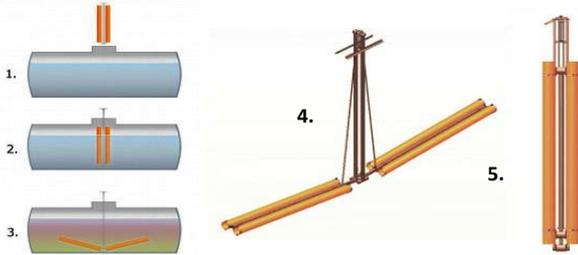


Рис. 6. Последовательность монтажа раскладной системы подогрева нефтепродуктов с использованием стеклопластиковых нагревателей в цистернах: 1 – опускание системы подогрева в сложенном состоянии через люк в цистерну; 2 – закрепление системы подогрева вверху цистерны; 3 – раскрытие штанги с нагревателями; 4 – штанга со стеклопластиковыми нагревателями в раскрытом состоянии; 5 – штанга с нагревателями в сложенном состоянии.

Описанные выше стеклопластиковые подогреватели нефтепродуктов в сравнении с металлическими имеют следующие преимущества [10, 12]: возможность снижения расхода электроэнергии на 25 ÷ 30 % в сравнении с нихромовыми ТЭНами; возможность разогрева вязких нефтепродуктов до рабочей температуры (макс. до 250 °С) без разрушения их фракционного состава; увеличение срока службы (при соблюдении правил монтажа и эксплуатации) в 3 ÷ 5 раз по сравнению с нихромовыми нагревателями (до 10 лет); возможность обеспечения длительного непрерывного режима эксплуатации при

рабочей температуре без закоксовывания нагревателей; экологичность; пожаробезопасность; возможность нагрева и обезвоживания битума при рабочей температуре без пенообразования. Вследствие наличия таких весьма существенных преимуществ стеклопластиковые подогреватели нефтепродуктов в последние годы получают всё большее распространение.

При выборе типа нагревателя для подогрева различных нефтепродуктов, безусловно, решающими факторами являются характеристика подогреваемого материала, а также требования, предъявляемые на объекте к этому материалу после его подогрева. Этот выбор должен базироваться на основе накопленного передового опыта использования новых технологий подогрева различных нефтепродуктов, а также выполненных технико-экономических расчетов.

Потребное количество нагревателей определяется по следующей формуле

$$P = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) / T \cdot N,$$

где G – общая масса подогреваемого нефтепродукта, т;

c – коэффициент теплоемкости подогреваемого нефтепродукта, ккал/кг·град;

t<sub>2</sub> – конечная температура нагрева нефтепродукта, °С;

t<sub>1</sub> – начальная температура нагреваемого нефтепродукта, °С;

T – время нагрева нефтепродукта, час;

N – мощность одного нагревателя, кВт.

Величина коэффициента теплоёмкости у различных нефтепродуктов не одинакова. Например, для мазута и масел он принимается равным 0,4, а для битума – 0,5. Значения этого коэффициента для различных конкретных нефтепродуктов следует принимать по специальным таблицам. Полученная при расчете дробная величина потребного количества нагревателей округляется таким образом, чтобы окончательно принятое количество было кратным трем. Это требование вызвано тем, что нагреватели чаще всего подключаются к электрической сети с напряжением 220 В и для того, чтобы не было

перекося фаз приймається 3-х кратне їх кількість [12].

### ВИВОДИ:

1. Одним из наиболее эффективных и перспективных способов подогрева вязких нефтепродуктов (битума, гудрона, мазута, минеральных масел, дизельного топлива и др.) в резервуарах в настоящее время является электрический.

2. Для подогрева и поддержания оптимальных температур вязких нефтепродуктов в стационарных и передвижных резервуарах мировыми компаниями созданы и в настоящее время широко применяются врезные, погружные и проточные нагреватели с керамическими нагревательными элементами и мощностями, находящимися в пределах от 2 до 144 кВт.

3. Как показана практика, наиболее эффективным и перспективным оборудованием для подогрева различных нефтепродуктов являются электрические стеклопластиковые нагреватели, представляющие собой стеклопластиковые трубы с расположенными внутри их нагревательными элементами из углеродистого волокна. В сравнении с металлическими у них на 25 – 30 % меньший расход электроэнергии и в 3 – 5 раз больший срок эксплуатации.

4. Область применения новых эффективных подогревателей нефтепродуктов целесообразно расширять. При выборе типов и моделей подогревателей с учетом их стоимости и качества предпочтительными могут быть приборы, выпускаемые компаниями «ИНТМАКС» [14] и «ТЭН 24» [1]. Однако, окончательный выбор нагревателей для конкретных условий должен производиться на основе выполненных подробных технико-экономических расчетов и обоснований.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Оборудование для подогрева нефти и нефтепродуктов в резервуарах. [URL:https://ten24.com.ua/](https://ten24.com.ua/), 2020, 7 с.
2. Нагреватели нефтепродуктов. ООО «ПОЛИМЕРНАГРЕВ». [URL:https://ten-nagrev.ru/](https://ten-nagrev.ru/), 2020, 3 с.
3. Врезной нагреватель нефтепродуктов. [URL:http://www.elcer.com.ua/](http://www.elcer.com.ua/), 2019, 3 с.

4. Нагреватели нефтепродуктов (битума). [URL:http://www.elcer.com.ua/](http://www.elcer.com.ua/), 2019, 4 с.
5. Погружные нагреватели нефтепродуктов. [URL:http://www.elcer.com.ua/](http://www.elcer.com.ua/), 2019, 3 с.
6. Циркуляционный (проточный) нагреватель нефтепродуктов. Каталог товаров компании «ИНТМАКС». [URL:http://www.elcer.com.ua/](http://www.elcer.com.ua/), 2019, 2 с.
7. Проточные (циркуляционные) нагреватели. [URL:https://electronagrev.ru/](https://electronagrev.ru/), 2020, 6 с.
8. Подогреватели односекционные проточные. [URL:https://tdsarrz.ru/](https://tdsarrz.ru/), 2020, 6 с.
9. Подогреватели проточные двухсекционные. [URL:https://tdsarrz.ru/2020](https://tdsarrz.ru/2020), 5 с.
10. Стеклопластиковые нагреватели. [URL:https://www.elcer.com.ua/](https://www.elcer.com.ua/), 2019, 3 с.
11. Стеклопластиковый погружной нагреватель нефтепродуктов. [URL:https://elemag-tpk.ru/](https://elemag-tpk.ru/), 2020, 6 с.
12. Стеклопластиковые и стеклокерамические нагреватели. [URL:http://elkadm.ru/](http://elkadm.ru/), 2020, 4 с.
13. Стеклопластиковый нагреватель битума. [URL:https://www.elcer.com.ua/](https://www.elcer.com.ua/), 2020, 6 с.
14. О компании ИНТМАКС. [URL:https://www.elcer.com.ua/](https://www.elcer.com.ua/), 2018, 5 с.

**Болотських М.С., Болотських М.М. ЕФЕКТИВНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГРІВУ НАФТОПРОДУКТІВ В РЕЗЕРВУАРАХ.** Наведено класифікацію існуючих способів і технічних засобів підгріву продуктів нафтопереробки, дано опис конструкцій і принципи дії ефективних металевих та склопластикових електричних нагрівачів, наведені їх технічні характеристики, викладені особливості монтажу і експлуатації в різних умовах, дані науково-обґрунтовані рекомендації щодо їх вибору та подальшого ефективного застосування на різних підприємствах.

**Ключові слова:** підгрів нафтопродуктів, електричні підгрівачі, врізні, заглибні і проточні нагрівачі.

**Bolotskykh N.S., Bolotskykh N.N. EFFICIENT EQUIPMENT FOR HEATING OIL PRODUCTS IN TANKS.** The

classification of existing methods and technical means of heating oil products, a description of the structures and the principles of operation of effective metal fiberglass electric heaters, technical specifications are given, features of their installation and operation under various conditions are described,

scientifically based recommendations for their selection and further effective use at various enterprises are given.

**Key words:** oil products heating, electric heaters, mortise, immersion and flow heaters.

DOI: 10.29295/2311-7257-2020-99-1-42-48  
УДК 624.154.54

**Вандоловський О. Г., Шептун С. Ю.**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка.  
(вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: awondol@gmail.com, zoooms@ukr.net  
orcid.org/0000-0003-1085-9444, orcid.org/0000-0002-1981-4560).*

### **РЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ ДРІБНОЗЕРНИСТОЇ БЕТОННОЇ СУМІШІ В ПАЛЯХ, ЯКІ ФОРМУЮТЬ В ПОПЕРЕДНЬО СФОРМОВАНИХ СВЕРДЛОВИНАХ**

В роботі представлена технологія отримання особливо міцного, дрібнозернистого бетону для тонкостінних паль в цивільному будівництві. Досліджено вплив стискаючих навантажень на структуру води в бетонній суміші. Визначено оптимальний діапазон стискаючих навантажень на бетонну суміш. Теоретично розглянуті реологічні показники дрібнозернистої бетонної суміші. З урахуванням фізичних властивостей рідинної фази розроблено технологічні рішення, що дозволяють використовувати особливості реологічних показників води шляхом поділення процесу пресування на три етапи. Визначено оптимальне співвідношення початкового і залишкового В/Ц при ущільненні дрібнозернистої бетонної суміші. За допомогою теоретичних розрахунків встановлено, що існує реальна можливість виготовлення бетонних паль на основі дрібнозернистого бетону методом пресування, які міцно з'єднуються з оточуючим ґрунтом стінок попередньо пробурених свердловин.  
**Ключові слова:** ущільнення дрібнозернистого бетону; реологічні властивості бетонної суміші.

**Вступ.** На відміну від звичайного важкого бетону, в дрібнозернистому бетоні дуже важливу роль відіграє розвинута поверхня складових бетону. В зв'язку з цим значний вплив відіграє рідка фаза - вода. В подальшому буде розглянуто різні види за структурою та її вплив на технологічні особливості ущільнення бетонної суміші.

Виготовлення фундаментів у вигляді тонкостінних паль на основі дрібнозернистого бетону методом пошарового пресування в попередньо пробурених свердловинах є економічно і технічно виправданим. Сили щеплення між зовнішньою поверхнею паль та з незруйнованим сухим ґрунтом (глинистим, супіщаним, суглинком)  $F_1=0.54 \text{ кг/см}^2$ , що значно перевищує міцність на зсув палі за технологією Струса  $F=0.34 \text{ кг/см}^2$ , та рекомендованих

згідно ДБН В. 2. 1 -10:2018 –  $F=0.25 \text{ кг/см}^2$  для буро-набивних паль.

**Матеріали і методи досліджень.** Обумовлені метою і завданнями роботи і базуються на системному підході. В даному дослідженні застосовуються стандартні методи аналізу та систематизації наукових видань по темі дослідження; аналіз першоджерел; методи структурного, факторного та порівняльного аналізу і виконана графоаналітична систематизація.

#### **Результати дослідження.**

Призначення фундаментів – передавати навантаження від ваги споруди на ґрунт. Конструкція та структура фундаменту повинна забезпечити довготривале існування споруд без появи тріщин в стінках будинку. Навантаження, отримані розрахунками згідно вимогам ДБН В.2.1-10-2018 повинні збільшуватися