

## ТЕПЛОВОЙ НАСОС – ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Ю.С. Почанин, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)

### Аннотация

*В статье приведена характеристика основных видов тепловых насосов (ТН), применяемых за рубежом, дан анализ их эффективности и предложены рекомендации по использованию в системах теплоснабжения сельскохозяйственного производства.*

### Введение

Теплонасосные установки (ТНУ), осуществляя обратный термодинамический цикл на низкокипящем рабочем веществе, позволяют концентрировать низкотемпературное тепло из окружающей среды (земли, воды, воздуха), повышая его потенциал до уровня, необходимого в теплоснабжении, т.е. переносить его от теплоносителя с низкой температурой (2-15°C) к теплоносителю с более высокой температурой (50-80°C). При использовании низкотемпературного источника теплоты, стоимость тепла, вырабатываемого тепловым насосом, в 1,6-3,7 раза ниже стоимости централизованного теплоснабжения и в 2-3 раза ниже, чем в угольной или мазутной котельной средней мощности [1]. Тепловые насосы также экологически чисты, так как работают без сжигания топлива и не производят вредных выбросов в атмосферу, имеют большой срок службы до капитального ремонта (10-15 отопительных сезонов) и полностью работают в автоматическом режиме. Обслуживание установок заключается в сезонном техническом осмотре и периодическом контроле режима работы. Срок окупаемости оборудования составляет 2-3 отопительных сезона. Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета, к 2020 году 75% теплоснабжения (коммунального и производственного) в развитых странах будет осуществляться с помощью тепловых насосов. Этот прогноз успешно подтверждается. В настоящее время в мире работает порядка 20 млн. тепловых насосов различной мощности – от нескольких киловатт до сотен мегаватт.

В Швеции установлено более 200 тысяч теплонасосных установок, использующих различные источники теплоты. Для Швеции характерно использование крупных ТНУ тепловой мощностью около 30 МВт. В качестве низкопотенциальной теплоты используются, в основном, очищенные сточные воды, морская вода и сбросная вода промышленных предприятий. Среди этих ТНУ можно выделить такие крупные, как в г. Мальме (40 МВт), г. Упсале (39 МВт), г. Эребру (42 МВт). Наиболее крупной среди ТНУ Швеции является Стокгольмская, мощностью 320 МВт, использующая в качестве источника низкопотенциального тепла (ИНТ) воду Балтийского моря. Эта установка, расположенная на причаленных к берегу баржах, охлаждает зимой морскую воду – от 4 °С до 2 °С. Себестоимость тепла

от этой установки на 20% ниже себестоимости тепла от котельных. Количество теплоты, вырабатываемое теплонасосными установками в Швеции, уже составляет около 50% от требуемого.

В Германии в эксплуатации находятся около 1 млн. ТНУ. Они используются в водяных, а также в воздушных системах отопления и кондиционирования воздуха. В качестве источников теплоты используется наружный и вытяжной воздух, грунт, вода и т.д. Крупные ТНУ работают, как правило, в системе центрального теплоснабжения.

В настоящее время в Германии выделяется самая крупная среди развитых стран государственная дотация из бюджета: за 1 кВт тепловой мощности, запущенного в эксплуатацию ТН, выплачивается 300 евро. И это при том, что по производству экономичных индивидуальных котлов на жидком и газообразном топливе для централизованного и индивидуального теплоснабжения Германия занимает одно из первых мест в мире.

В Дании эксплуатируется более 40 тысяч ТНУ, источниками теплоты для которых служат грунт, вода и воздух, широко распространены установки для комбинированного производства тепла и холода на молочных фермах.

В России, стране богатой углеводородными ресурсами, ряд работ будет выполняться в рамках региональных программ энергосбережения и замены традиционных систем теплоснабжения теплонасосными установками (Новосибирская обл., Нижегородская обл., Норильск, Нуренгри, Якутия, Дивногорск, Красноярский край). Планируется осуществить среднегодовой ввод мощностей теплонасосных установок около 100 МВт.

В Республике Беларусь, а тем более в аграрно-промышленном комплексе, вопросу использования теплонасосных установок должного внимания не уделяется.

### Основная часть

Теплонасосные установки целесообразно использовать при переходе к децентрализованным системам теплоснабжения (без протяженных дорогостоящих тепловых сетей), когда тепловая энергия генерируется вблизи ее потребителя. Внедрение таких экономичных и экологически чистых технологий теплоснабжения необходимо, в первую очередь, во вновь строящихся

районах городов и в населенных пунктах при полном исключении применения электродвигательных, потребление энергии которыми в 3-4 раза превышает потребление ее теплонасосными установками. Использование теплонасосных установок перспективно в комбинированных схемах в сочетании с другими технологиями использования возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой, биоэнергии), так как позволяет оптимизировать параметры сопрягаемых систем и достигать наиболее высоких экономических показателей. Применение теплонасосных установок вносит наибольший вклад в экономию невозобновляемых энергоресурсов с помощью технологий нетрадиционной энергетики. Использование низкопотенциального тепла земли посредством тепловых насосов возможно практически повсеместно, и в настоящее время это одно из наиболее динамично развивающихся направлений использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

В тепловом насосе происходит отбор теплоты от низкопотенциального источника, и его утилизация осуществляется следующим образом. Теплоноситель, проходя по трубопроводу, проложенному в земле или воде, нагревается на несколько градусов, затем, проходя через теплообменник испарителя теплового насоса, отдает аккумулированную теплоту. Хладагент (с низкой температурой кипения при низком давлении), отбирая эту теплоту, переходит из жидкого состояния в газообразное. Компрессор сжимает хладагент, при

повышении давления повышается температура газа до 50...80°C, и затем горячий газ поступает в теплообменник конденсатора, где происходит передача тепла в систему отопления.

Схематично теплонасосную установку можно представить в виде системы из трех замкнутых контуров: в первом – внешнем циркулирует теплоноситель, собирающий теплоту окружающей среды, во втором – хладагент (вещество, которое испаряется, отбирая теплоту у первого контура) конденсируется, отдавая теплоту третьему контуру, где находится вода системы отопления и горячего водоснабжения.

Теплонасосные установки для горячего водоснабжения и отопления включают в себя следующие основные элементы: системы сбора низкопотенциальной тепловой энергии окружающей среды, циркуляционные насосы, парокомпрессионные тепловые насосы, баки-аккумуляторы горячей воды, системы напольного или радиаторного отопления, контрольно-измерительную аппаратуру.

Внешний контур теплонасосной установки – это, как правило, комплект из полимерных труб с циркулирующим незамерзающим теплоносителем на основе гликоля (антифриз). Основные источники низкопотенциальной теплоты (ИНТ) и характеристика их температур представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Основные ИНТ, их температура и теплоноситель внешнего контура**

ИНТ	Теплоноситель внешнего контура	Температура источника, °С
Грунтовые воды	Вода	8...15
Грунт	Антифриз	2...10
Вода с водозабора	Вода	6...10
Речная вода	Антифриз	1...10
Канализационные стоки	Вода	10...17
Окружающий воздух	Воздух	-8...15
Вытяжной воздух	Воздух	18...25

Внешний контур – контур отбора теплоты от окружающей среды может быть земляным, водяным и воздушным. При использовании в качестве источника теплоты участка земли контур отбора теплоты может быть горизонтальным или вертикальным. При горизонтальной укладке трубопровод зарывается в землю на глубину промерзания грунта (выбирается для конкретного региона). Минимальное расстояние между соседними трубопроводами – 0,8..1,2 м. Специальной подготовки почвы, засыпок и т.п. не требуется. Ориентировочное значение тепловой мощности, отбираемой с 1 м трубопровода, составляет 20-30 Вт. Таким образом, для установки теплового насоса мощностью 10 кВт необходим земляной контур длиной 500..333 м. Для укладки такого контура потребуется участок земли площадью около 600-400 кв. м соответственно. Модуль классического горизонтального коллектора мощностью 2 кВт представлен на рис. 1 [2].

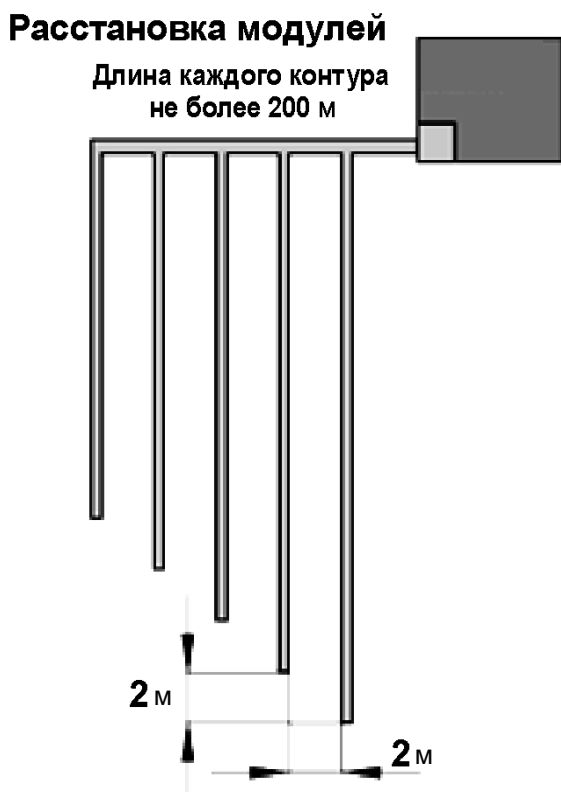


Рисунок 1. Модуль классического горизонтального коллектора

При вертикальной укладке ориентировочное значение тепловой мощности, отбираемой с 1 м трубопровода, составляет 50-60 Вт. Вертикальные грунтовые теплообменники эффективно работают практически во всех видах геологических сред, за исключением грунтов с низкой теплопроводностью, например, сухого песка или сухого гравия. Теплоноситель циркулирует по трубам (чаще всего полиэтиленовым или полипропиленовым), уложенным в вертикальных скважинах глубиной от 50 до 200 м. Обычно используются два типа вертикальных грунтовых теплообменников (рис. 2). U-образный теплообменник, представляющий собой две параллельные трубы, соеди-

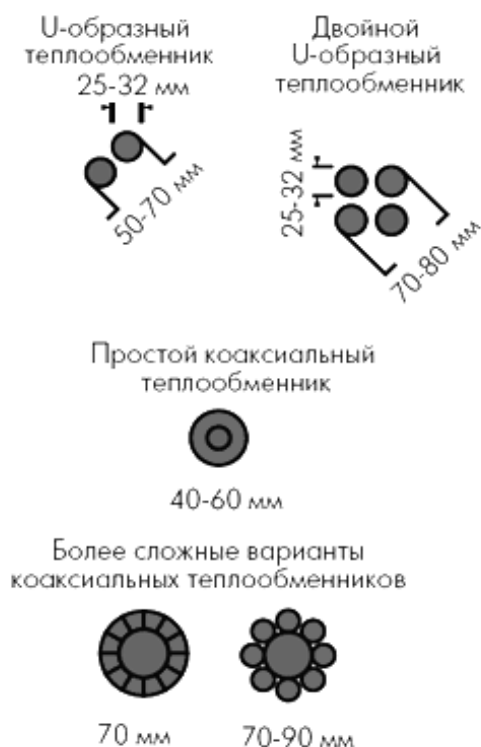


Рисунок. 2. Сечение различных типов вертикальных грунтовых теплообменников

ненные в нижней части. В одной скважине располагаются одна или две пары таких труб. Преимуществом этой схемы является относительно низкая стоимость изготовления. Двойные U-образные теплообменники – наиболее широко используемый в Европе тип вертикальных грунтовых теплообменников. Коаксиальный (концентрический) теплообменник – представляет собой две трубы различного диаметра. Труба меньшего диаметра располагается внутри другой трубы. Коаксиальные теплообменники могут быть и более сложных конфигураций [3].

Основным теплообменным элементом системы сбора низкопотенциального тепла грунта являются вертикальные грунтовые теплообменники коаксиального типа, расположенные снаружи по периметру здания. Эти теплообменники представляют собой 8 скважин глубиной от 32 до 35 м каждая, устроенных вблизи дома.

Для увеличения эффективности теплообменников пространство между стенками скважины и трубами заполняется специальными теплопроводящими материалами.

При использовании в качестве источника теплоты воды ближайшего водоема, реки контур укладывается на дно водоема. Ориентировочное значение тепловой мощности, отбираемой с 1 м трубопровода, составляет 30 Вт. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходимо уложить в водоем контур длиной 333 м. Для того, чтобы трубопровод не всплывал, на 1 погонный м трубопровода устанавливается около 5 кг груза.

При воздушном контуре теплонасосная установка собирает энергию из окружающего воздуха, однако, в силу технических причин, теплонасосные установки с воздушным контуром имеют серьезное ограничение в применении: минимальная температура наружного воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$ . Насос может быть расположен внутри или снаружи помещения. Воздух подается в его теплообменник с помощью вентилятора.

Основными составляющими теплового насоса являются:

**1. Хладагент.**

Характеристика широко применяемого хладагента R 407 C представлена в табл. 2 [4].

**Таблица 2. Характеристика хладагента R 407 C**

Давление, бар	Температура испарения, $^{\circ}\text{C}$	Температура конденсации $^{\circ}\text{C}$
1	-21,3	-27,9
1,4	-16,9	-23,3
1,8	-13,3	-19,3
2,2	-9,6	-15,7
2,6	-6,5	-12,5
3	-3,6	-9,5
4	2,5	-3
4,6	6,1	0,5
5	8,2	2,6
5,8	12,2	6,6
6,6	15,7	10,2
7	17,4	11,9
8	21,3	15,9
9	24,9	19,5
10	28,3	22,9
11	31,4	26,1
12	34,3	29,1
13	37,1	31,9
14	39,7	34,5
15	42,2	37,1
16	44,5	39,5
17	46,8	41,8
18	48,9	44
19	51	46,2
20	53	48,2
21	54,9	50,2
22	56,7	52,1
23	58,5	54
24	60,2	55,8
25	61,8	57,9

## 2. Высокопроизводительный испаритель.

В испарителе хладагент через пластинчатый теплообменник забирает у ИНТ теплоту и испаряется. Теплообменник выполнен из нержавеющей стали и состоит из множества наложенных друг на друга и спаянных металлических пластин. Благодаря большой поверхности теплообменника и незначительной вместимости, имеющаяся тепловая энергия может быстро переноситься от источника теплоты к хладагенту. Теплообменник работает по принципу противотока с целью оптимального использования энергии. Пластинчатый теплообменник имеет изоляцию, защищающую от накапливающегося конденсата.

## 3. Компрессор.

Принцип работы спирального компрессора заключается в том, что в двух вставленных друг в друга спиралях постоянно образуются изменяющиеся газовые полости (рис. 3). Одна спираль неподвижная, в то время как другая при этом эксцентрично движется.

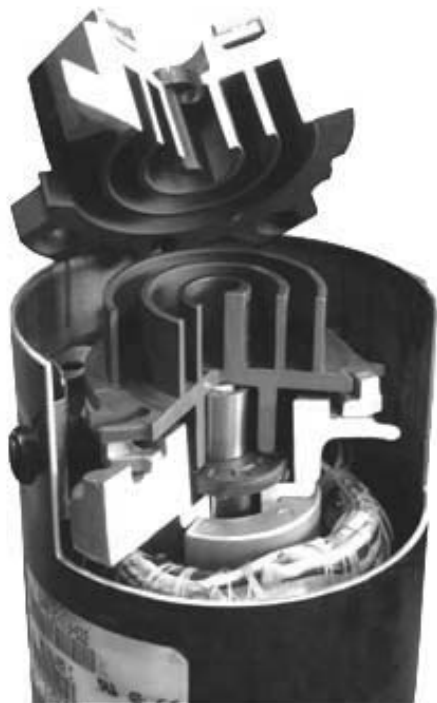


Рисунок 3. Спиральный компрессор теплового насоса

Благодаря движению, пар хладагента всасывается в открытую внешнюю камеру. При продолжении движения спирали камера пара хладагента непрерывно уменьшается. В центре неподвижной спирали имеется отверстие, через которое сжатый пар через камеру давления направляется в напорный трубопровод.

Поскольку спиральному компрессору рабочие клапаны не нужны, то потери газа также очень незначительны. Благодаря почти непрерывному процессу сжатия, возникает остающееся постоянным давление (нет газовых пульсаций). Компрессор характеризуется высокой плавностью хода и незначительной эмиссией шума.

## 4. Конденсатор.

В конденсаторе хладагент передает полученную им энергию в виде полезной теплоты воде отопления через пластинчатый теплообменник, изготовленный из нержавеющей стали, и конденсируется.

## 5. Термостатный расширительный клапан.

В расширительном клапане падает давление и температура жидкого хладагента, и он вновь направляется в испаритель. Расширительный клапан все время выдает такое количество хладагента, которое может испариться и обеспечить компрессор газообразным хладагентом.

## 6. Автоматика.

Стандартный регулятор теплового насоса осуществляет погодозависимое регулирование температуры в доме. Регулятор имеет очень гибкую систему настроек. При подключении датчика комнатной температуры возможно регулирование температуры воздуха в доме: как независимо от уличного датчика, так и совместно с ним. Автоматика поддерживает работу с двумя температурными контурами отопления. Доступ к регулятору возможен дистанционно – по проводной телефонной или сотовой сети. Данная возможность, кстати, уже используется за рубежом: при возникновении неисправности автоматика теплового насоса отправляет SMS с кодом ошибки на номер сервисного центра.

Энергетическая эффективность ТН оценивается коэффициентом трансформации тепла ( $\mu$ ) и эксергетическим КПД ( $\eta_e$ ) [5].

Коэффициент трансформации тепла ( $\mu$ ) является отношением количества тепла ( $Q_B$ ), полученного в ТН, к затраченной мощности ( $N_{ЗМ}$ ) на привод компрессора:

$$\mu = Q_B / N_{ЗМ} \quad (1)$$

Проведенные исследования показали, что, например, при температуре испарителя на уровне  $0^\circ\text{C}$  и температуре конденсатора на уровне  $60^\circ\text{C}$  коэффициент  $\mu$  реальной установки достигает 3. С увеличением температуры источника низкопотенциального тепла и/или с уменьшением температуры, необходимой потребителю, коэффициент  $\mu$  возрастает и может достигать 4, 5 и больших значений [6]. Очевидно, что применение тепловых насосов особенно эффективно в случае использования воздушных систем и/или напольных систем водяного отопления, для которых температура в конденсаторе может не превышать  $35-40^\circ\text{C}$ .

Вторым критерием оценки эффективности работы ТН является эксергетический КПД, который учитывает не только количество полученного тепла, но и его качество, т.е. температурный уровень.

Пределы изменения эксергетического КПД:

$$0 \leq \eta_e \leq 1.$$

Как отмечалось выше, для реальных ТН коэффициент трансформации составляет  $\mu \approx 3-4$ , в то время как  $\eta_e = 30-40\%$ .

Это означает, что на каждый затраченный кВт·ч энергии в реальной ТНУ в конденсаторе можно полу-

чить  $Q_{в}=3-4$  кВт·ч. Это является основным преимуществом ТНУ перед другими способами получения теплоты.

Все более широкое применение в последнее время находят системы отопления с применением современных теплообменников типа фанкойлов, характеризующихся высокими коэффициентами теплопередачи и, соответственно, допускающих использование теплоносителя с пониженными температурами.

Ключевым вопросом, от которого в значительной степени зависит эффективность применения тепловых насосов, является вопрос об источнике низкопотенциальной теплоты. Таким источником мог бы быть атмосферный воздух. Однако в зимнее время, когда тепловая нагрузка возрастает, его температура в наших природно-климатических условиях становится слишком низкой, чтобы обеспечить эффективную работу теплового насоса. В Могилеве, в частном доме [7], установлен тепловой насос типа воздух-вода мощностью 14 кВт в бивалентном режиме с дизелем. По заводским данным, в зависимости от температуры наружного воздуха тепловая мощность, которая будет получена, представлена в таблице 3.

**Таблица 3. Зависимость тепловой мощности от температуры наружного воздуха**

Температура воздуха / температура теплоносителя, °С	Потребляемая электрическая мощность, кВт	Тепловая мощность, кВт
15/50	4,8	16,6
7/50	4,6	13,9
2/50	4,5	12,2
0/45	4,0	11,7
-7/50	4,2	9,5
-20/50	3,9	6,6

Идеальный вариант для тепловых насосов — наличие вблизи от потребителя источника “сбросной” теплоты промышленного или коммунального предприятия. В наших условиях хозяйствования такие случаи нередки. Тем не менее, эти случаи следует рассматривать как частные. В качестве довольно универсального источника низкопотенциальной теплоты можно использовать теплоту грунта. Известно, что на глубине 4-5 м и более температура грунта в течение года практически постоянна и соответствует среднегодовой температуре атмосферного воздуха. Хотя за последние несколько десятков лет во всем мире резко возросло производство тепловых насосов, в нашей стране ТНУ до настоящего времени не нашли широкого применения. Причины здесь следующие: традиционная ориентация на централизованное теплоснабжение; соотношение между стоимостью электроэнергии и топлива. При использовании тепловых насосов при отоплении помещений необходимо помнить, что для всех типов тепловых насосов характерен ряд особенностей.

Во-первых, тепловой насос оправдывает себя только в хорошо утепленном здании, то есть с теплопотерями не более  $60 \text{ Вт/м}^2$ , чем теплее дом, тем больше выгода.

Во-вторых, чем больше разница температуры источника низкопотенциальной теплоты и температуры носителя, используемого в системе отопления, тем меньше коэффициент преобразования теплоты. Поэтому более выгодно подключение агрегата к низкотемпературным системам отопления. Прежде всего, имеется в виду обогрев от водяных полов или теплым воздухом, так как в этих случаях теплоноситель по медицинским требованиям не должен быть горячее  $35^\circ\text{C}$ .

В-третьих, для достижения большей выгоды практикуется эксплуатация тепловых насосов в паре с дополнительным генератором теплоты (в таких случаях говорят об использовании бивалентной схемы отопления). В доме с большими теплопотерями или при температуре на улице  $-10-15^\circ\text{C}$  включается второй генератор теплоты. Им может быть жидкотопливный котел, но возможны и более сложные тепловые бивалентные схемы, например включение солнечного коллектора. Для этого у некоторых серийных систем тепловых насосов и солнечных коллекторов такая возможность предусмотрена в конструкции. В этом случае смешивание теплоты, идущей от теплового насоса (это достаточно инерционная система) и от солнечного коллектора (малоинерционная система), производится в выравнивающем бойлере [8].

В большинстве случаев тепловые насосы применяются для теплоснабжения, горячего водоснабжения жилых и производственных зданий, обеспечения тепловой энергией ряда технологических процессов (низкотемпературная сушка, дистилляция, тепловая обработка, тепло- и холодоснабжение сельскохозяйственных объектов, молочно-товарных ферм, фруктохранилищ, зернохранилищ и др.).

Существуют две основные области применения тепловых насосов в технологических процессах сельского хозяйства: в линиях первичной обработки молока и для теплоснабжения стойловых помещений. На молочных фермах существенную долю расхода энергоресурсов (до 50%) составляют затраты электроэнергии на привод компрессоров холодильных машин, предназначенных для охлаждения свежесобранного молока и на нагрев воды для санитарно-технологических нужд. Такое сочетание потребности в теплоте и холоде создает благоприятные условия для применения тепловых насосов. С вентилируемым воздухом стойловых помещений отводится значительное количество теплоты, которое успешно может быть использовано в качестве низкопотенциального теплоисточника для малых тепловых насосов. Применение тепловых насосов на животноводческих фермах обеспечит одновременно кондиционирование

воздуха в стойловых помещениях и теплоснабжение производственных помещений.

### Выводы

1. В настоящее время тепловые насосы являются более экономичными, чем котлы на дизельном топливе, а в ближайшем будущем, когда цены на энергоносители сравняются с европейскими, они станут бесспорными лидерами, и будут превосходить даже газовые котлы.

2. Кроме прямого экономического эффекта, тепловой насос абсолютно экологически безвредный источник теплоснабжения, пожаро- и взрывобезопасен.

3. Поскольку тепловые насосы не используют в своей работе топливо, то соответственно стоимость их эксплуатации не будет зависеть от изменения цен на энергоносители.

4. В Республике Беларусь целесообразно применять ТНУ двойного назначения, в которых в отопительный период теплоснабжение зданий осуществляется преимущественно от теплового насоса (80-90% годового теплотребления), а пиковые нагрузки (при низких температурах) покрываются котлами на органическом топливе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Волов, Г.Я. Использование тепловых насосов в теплоснабжении и горячем водоснабжении/ Г.Я. Волов, К.Л. Кочепасов//Энергия и менеджмент, 2002. – № 2-3.
2. Фокин, В. М. Основы энергосбережения и энергоаудита/ В.М. Фокин. –М.:Машиностроение, 2006. – С.256.
3. Калнинь, И. М. Перспективы развития тепловых насосов / И.М. Калнинь //Холодильная техника, 1994. – №1.
4. Везиришвили, О.Ш. Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения/ О.Ш. Везиришвили, Н.В. Меладзе. – М.: МЭИ, 1994. – 160 с.
5. Эксергетический метод и его приложения/ В.М. Бродянский [и др.]; под общ. ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергоиздат, 1986. – 75 с.
6. Попель, О.С. Тепловые насосы. – эффективный путь энергосбережения/ О.С. Попель// Проблемы энергосбережения, 1999. –№1.
7. Материал из «Ваш дом TUT» [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www.vashdom.tut.by/](http://www.vashdom.tut.by/). – Дата доступа: 1.09.2009
8. Амерханов, Р.А. Тепловые насосы/ Р.А. Амерханов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – С.160.

УДК 631.333

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.01.2009

## ОСОБЕННОСТЬ ПОВОРОТА ТРАКТОРА С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ

И.Н. Ботян, председатель (СПК «Вировлянский», Витебская обл.)

### Аннотация

*Предлагается методика расчета для определения минимального радиуса поворота трактора. Рассмотрена линейная теория деформации шин. Приведены зависимости между величиной угловой и поперечной деформациями в процессе движения. Даны рекомендации механизаторам, работающим на тракторах Т-150К и К-700.*

### Введение

В повышении эффективности сельскохозяйственного производства, ускорении научно-технического прогресса значительная роль отводится новой сельскохозяйственной технике, которая должна повысить производительность труда на основной обработке почвы в 1,5 – 1,8 раза и снизить удельный расход топлива на 10 – 12 %.

В наиболее общем случае колесная машина совершает весьма сложные движения. Вместе с тем, от сил, действующих в контакте колесного движителя с дорогой, зависят такие основные эксплуатационные свойства колесных машин, как тягово-скоростные характеристики, поворачиваемость, устойчивость, проходимость и некоторые другие.

В развитии теории движения колесных машин велика заслуга ученых Г.В. Зимелева, Б.С. Фалькеви-

ча, А.С. Литвинова, Я.М. Певзера, Р.В. Ротенберга, В.Ф. Бабкова, главных конструкторов заводов и многих других ученых и инженеров [1].

Поворачиваемость – свойство колесной машины совершать повороты с заданной кривизной на дороге и местности.

Теория поворота колесного трактора с шарнирно-сочлененной рамой давно интересует исследователей. Подобная постановка вопроса в литературе пока не получила решения. Нет исследований поворота трактора с шарнирно-сочлененной рамой типа Т-150К, К-700 и других при наличии у трактора переднего и заднего ведущих мостов.

Для уяснения всей картины взаимодействия, как колес с почвой, так и частей трактора было решено расчленив задачу на ряд отдельных задач.