

- условиях. – Киев: «Будівельник», 1976. – 112 с.
5. Болотских Н.С., Сорокин Б.С. Универсальная установка локального вакуумного водопонижения ПУВВ–5МЕА с автоматизированной системой управления. Рекомендации по применению. – Харьков: ХНУСА, 2013. – 38 с.
 6. Болотских Н.С., Клейн Е.Б. Создание и освоение энергоэффективных технических средств водопонижения при производстве аварийно-восстановительных работ на сетях водоотведения. Ж. «Водопостачання. Водовідведення», № 1, 2015. – с. 25-30.
 7. Болотских Н.С., Иванов В.П., Журавлев Ю.В., Коринько И.В., Клейн Е.Б., Булгаков В.В. Повышение эффективности рабочего режима универсальной установки вакуумного водопонижения. «Науковий вісник будівництва», вип. 57, Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – с. 367-372.

УДК 697.7

Болотских Н.Н.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ИНФРАКРАСНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ОТОПЛЕНИИ ПОМЕЩЕНИЙ

Введение. Для отопления различных зданий и помещений в настоящее время широко используются традиционные конвективные и воздушные системы отопления.

При конвективных системах отопления с использованием различных приборов в помещении нагревается воздух. При этом теплый воздушный поток устремляется вверх к потолку, оставляя внизу холодный воздух. В результате наиболее нагретой оказывается верхняя часть помещения, которая не является зоной деятельности человека.

При воздушном отоплении воздух из отапливаемого помещения забирается вентилятором, подается на водяной или паровой калорифер и по воздуховодам направляется в рабочую зону. Распределение воздуха в рабочей зоне осуществляется с помощью распределительных головок или в виде направленных струй. В этих системах в качестве теплоносителя используется воздух, обладающий крайне низкой теплоемкостью (в четыре раза меньшей, чем у воды).

Эти способы отопления имеют ряд существенных недостатков: большие энергозатраты; высокие первоначальные затраты на приобретение необходимого обо-

рудования; сложность и трудоемкость монтажа систем отопления; наличие тепловой инерционности (медленное нагревание); сложность в регулировке и эксплуатации системы отопления.

Альтернативой этим традиционным способам отопления является децентрализованный инфракрасный с применением различных нагревателей, использующих в качестве энергоносителя: электричество, газ, горячую воду, пар и дизельное топливо. Главным преимуществом этого метода отопления помещений по сравнению с упомянутыми выше традиционными заключается в прямой передаче тепла от нагревателя, без промежуточного теплоносителя, с помощью электромагнитных волн ко всем предметам и поверхностям, находящимся в рабочей зоне. Человек, пребывающий в рабочей зоне, при этом ощущает более высокую температуру (температуру ощущения) нежели температуру воздуха в помещении. При этом затраты энергии для достижения необходимого теплового режима в рабочей зоне минимальны.

Учитывая дефицит и дороговизну энергоносителей (особенно природного газа) в настоящее время в нашей стране для отопления помещений отдается предпочтение

наиболее энергоэффективным нагревателям, в частности, электрическим длинноволновым панельным. Их используют для отопления помещений с высотой потолков от 2 до 15 м. С их помощью отапливают: производственные и складские помещения; торговые павильоны и вставочные залы; спортивно-зрелищные объекты; офисы; школы и больницы; квартиры и частные дома; религиозно-культурные здания и многие другие помещения.

Несмотря на совершенство существующих конструкций инфракрасных электрических нагревательных панелей проблема обеспечения оптимального микроклимата в рабочих зонах отапливаемых помещений при минимальных энергозатратах с их применением еще окончательно не решена. По-прежнему очень остро стоят вопросы дальнейшего сокращения расходов энергоресурсов на отопление помещений. Рассмотрению этих вопросов и посвящается настоящая статья.

Цель статьи. Снижение расходов энергоресурсов на отопление зданий и помещений в Украине.

Основное содержание. В настоящее время выпуском электрических нагревательных панелей занимается ряд отечественных и зарубежных компаний, в частности: «БИЛЮКС УКРАИНА» (Украина), «ENSA» (Германия), «FRICO» (Швеция), «ЭКО ЛАЙН» (Россия) и ряд других.

Компания «БИЛЮКС УКРАИНА» [1] выпускает достаточно совершенные энергоэффективные нагреватели под торговой маркой БИЛЮКС с индивидуальными мощностями в пределах от 600 до 6000 Вт.

Компания «ENSA» [2] выпускает ряд моделей длинноволновых электрических панельных нагревателей под торговой маркой ENSA с индивидуальными мощностями в пределах от 500 до 750 Вт.

Компания «FRICO» [3] выпускает нагреватели модели CIR с индивидуальными мощностями в пределах от 500 до 2000 Вт и модели IR с индивидуальными мощностями в пределах от 3 до 6 кВт.

Компания «ЭКО ЛАЙН» [4] выпускает 7 моделей электрических длинноволновых панельных нагревателей с индивидуальными мощностями от 300 до 4000 Вт.

Выпускаемых упомянутыми выше и другими компаниями инфракрасных электрических панельных нагревателей вполне достаточно для того, чтобы обеспечивать надежное и в большинстве случаев эффективное отопление помещений практически любого назначения. Однако, несмотря на совершенство выпускаемых конструкций электрических панельных нагревателей при проектировании и эксплуатации таких систем отопления следует особое внимание уделять энергосбережению. Возрастающие требования к обеспечению оптимального микроклимата в рабочих зонах отапливаемых помещений, а также постоянно растущие цены на энергоресурсы придают этой проблеме в настоящее время особую актуальность.

При отоплении помещений с помощью инфракрасных электрических панельных нагревателей решению проблемы энергосбережения способствует ряд факторов, главными из которых являются: наличие низкого температурного градиента; наличие прямого нагрева рабочей зоны помещения, позволяющего снижать температуру воздуха при сохранении комфортного теплового режима; низкая инерционность системы отопления (короткое время нагрева помещения); возможность осуществления локального и точечного обогрева в зонах и отдельных помещениях; возможность оптимального управления температурой в помещениях (терморегулирование).

Рассмотрим более подробно эти факторы. Одним из главнейших достоинств систем электрического панельного отопления является наличие у них низкого температурного градиента. На рис. 1, для примера, показаны температурные профили по высоте помещения при конвективном и лучистом (инфракрасном) отоплении помещений.

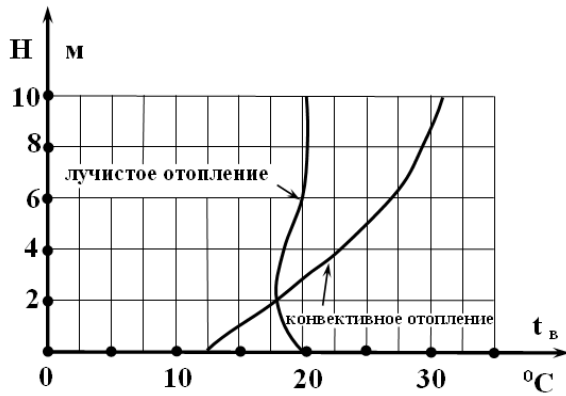


Рис. 1. Температурные профили при использовании лучистых и конвективных систем отопления.

Из рассмотрения этих профилей видно, что при инфракрасном отоплении температура воздуха по высоте помещения изменяется в небольших пределах, а при конвективном эти изменения весьма существенны. Установлено, что при инфракрасном способе отопления температурный градиент составляет около $0,3^{\circ}\text{C}/\text{м}$, а при конвективном – до $2,5^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Наличие низкого температурного градиента при инфракрасных системах отопления свидетельствует о том, что температура воздуха по высоте помещения лучше выравнивается. Это означает меньшие потери тепла и более эффективное его использование в рабочей зоне. Таким образом, за счет замены конвективных систем отопления на инфракрасные может быть достигнута достаточно ощутимая экономия энергоресурсов.

На рис. 2 приведены совмещенные температурные профили по высоте помещения, обогреваемого с помощью инфракрасных электрических панельных нагревателей БИЛЮКС и воздушного способа.

Температурные профили на рис. 2 построены для одинаковой температуры ощущения (18°C), измеренной в помещении с помощью сферического термометра [1] на высоте 1 м от уровня пола. На рисунке приняты следующие обозначения: Н – высота от уровня пола в помещении, м; Т – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$. Площадка на рисунке, расположенная между кривыми изменения температуры воздуха по высоте помещения, отапливаемого с помощью потолочных панельных электронагревателей

и воздушного способа, представляет собой энергосберегающий потенциал излучающих панелей БИЛЮКС.

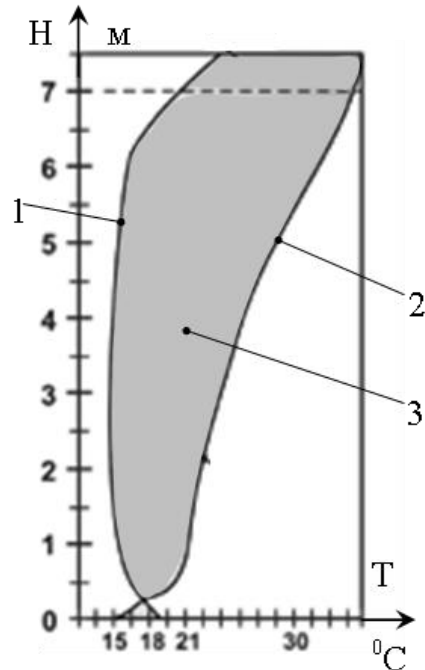


Рис. 2. Совмещенные температурные профили по высоте помещения, обогреваемого с помощью потолочных электрических нагревательных панелей БИЛЮКС и воздушного способа:

- 1 – температурный профиль при электрическом панельном отоплении; 2 – температурный профиль при воздушном отоплении; 3 – энергосберегающий потенциал электрических панельных нагревателей БИЛЮКС.

Компания «БИЛЮКС Украина» [1] по специальной методике подсчитала энергосберегающий потенциал выпускаемых ими нагревателей БИЛЮКС. Он составил 43,1%. Таким образом, приведенные выше данные подтверждают существенное влияние температурного градиента на величину энергосбережения.

За счет наличия прямого нагрева предметов и поверхностей, находящихся в рабочей зоне помещения, отапливаемого с помощью инфракрасных электрических панельных нагревателей, также можно экономить энергоресурсы. При таком способе нагрева ощущаемая человеком температура всегда выше температуры окружающего его в помещении воздуха. Поэтому, оставив ощущаемую температуру на том же уровне, можно несколько снизить температуру воздуха в помещении. За счет этого можно

уменьшить расход электроэнергии на отопление с сохранением комфортного теплового режима в рабочей зоне помещения. Исследованиями установлено, что температура воздуха при обогреве помещения с помощью электрических панельных нагревателей может быть на 3°C ниже требуемой. При этом уменьшение ее только на 1°C приводит к энергосбережению до 5%.

С использованием инфракрасных систем отопления на базе электрических панельных нагревателей, обладающих низкой инерционностью, обогрев рабочей зоны помещения происходит быстрее, чем с помощью конвективных и воздушных. За счет этого можно также сэкономить часть энергоресурсов. Например, если мы имеем более низкую температуру ночью, то можно увеличить количество часов работы с ночной температурой.

Инфракрасные системы отопления на базе электрических панельных нагревателей позволяют обогревать не только помещение, но и его отдельные зоны или рабочие места. Для обеспечения такого режима обогрева электрические нагреватели включаются в работу в помещении только над отдельными зонами либо рабочими местами. За счет этого можно снижать расходы электроэнергии на отопление и улучшать тепловой комфорт в рабочих зонах.

Для всех систем автономного отопления, в том числе и инфракрасного на базе электрических панельных нагревателей, основой энергосбережения является терморегулирование. Системы электрических потолочных излучающих панелей оптимальны для использования в помещениях с постоянно изменяющейся тепловой нагрузкой. Для оптимального управления температурой в помещениях используются программируемые регуляторы температуры EUROSTER 3000 COMFORT. Применяемые в регуляторе два датчика температуры позволяют независимо программировать две температуры – воздуха и пола. Устройства терморегулирования позволяют с высокой точностью управлять работой длинноволновых электрических панельных нагревателей и других климатических систем для поддержания в помещении заданной температуры. При этом нагреватели работают в максимально экономичном

режиме, исключая недогревы или перегревы помещения.

Решению проблемы энергосбережения при инфракрасном электрическом отоплении помещений, безусловно, способствует и уменьшение утечек тепла из отапливаемого помещения, например, через открывающиеся двери или окна. При этом сокращение времени открытия и сбалансированная вентиляция в помещении могут снизить тепловые потери. Для уменьшения этих потерь тепла нередко в таких случаях используют воздушные завесы.

Снижению энергозатрат при инфракрасном электрическом отоплении может способствовать также дальнейшая модернизация используемых панельных нагревателей. Несмотря на их весьма существенные преимущества в сравнении с другими автономными инфракрасными системами отопления приходится констатировать то, что при их работе также имеют место неоправданные потери тепла и эти потери надо сокращать до минимума. Более подробные соображения по этому поводу приводятся ниже.

При работе инфракрасных электрических панельных нагревателей имеют место две составляющие теплоотдачи: лучистая и конвективная (Рис. 3). Уравнение теплового баланса этих нагревателей может быть записано в виде

$$Q_o = Q_l + Q_k, \quad (1)$$

где – Q_o – общая тепловая мощность нагревателя; Q_l – лучистая составляющая теплоотдачи; Q_k – конвективная составляющая теплоотдачи.

Низкотемпературные ТЭНы в панельных электрических нагревателях отдают тепло излучающим пластинам. Эти пластины в свою очередь излучают в отапливаемое помещение тепловые электромагнитные волны длиной от 2,5 до 50 мкм.

Поток лучистой энергии от инфракрасных электрических панельных нагревателей беспрепятственно проходит сквозь воздух (не нагревая его) в рабочую зону обогреваемого помещения и нагревает находящиеся в ней различные предметы, оборудование, а также людей.

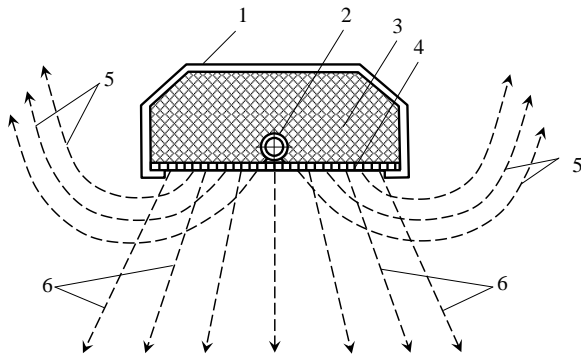


Рис. 3. Схема движения потоков лучистого и конвективного тепла при работе электрических нагревательных панелей:
 1 – стальной корпус; 2 – низкотемпературный трубчатый электронагреватель (ТЭН);
 3 – углеродосодержащая теплоизоляция;
 4 – излучающая пластина; 5 – линии движения конвективно нагретого воздуха; 6 – линии движения тепловых электромагнитных волн.

В свою очередь эти предметы и оборудование с помощью конвекции отдают аккумулированное ими тепло окружающему воздуху. Этот подогретый воздух, поднимаясь к потолку, немного остывает. При этом на уровне головы стоящего человека температура воздуха оказывается на 1-2°C ниже, чем у пола. Что же касается находящихся в обогреваемой зоне людей, то их комфортное состояние, соответствующее интенсивности труда, поддерживается не только за счет температуры окружающего воздуха, но и еще и за счет отраженной на них со стороны нагревателей, нагретого пола и оборудования лучистой энергии. Это обстоятельство позволяет обеспечивать в рабочих зонах помещений отапливаемых с помощью электрических панельных нагревателей наиболее приятный для работников микроклимат.

Лучистая составляющая ($Q_{л}$), т.е. количество теплоты, отдаваемое электрическим панельным нагревателем в рабочую зону отапливаемого помещения, согласно закону Стефана-Больцмана, определяется по формуле

$$Q_{1-2} = c_0 \cdot \xi_{1-2} \cdot H_{1-2} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$$

где $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела; ξ_{1-2} –

приведенная степень черноты участвующих в теплообмене поверхностей 1-2 (излучающей пластины нагревателя и конкретной обогреваемой поверхности в рабочей зоне помещения); H_{1-2} – взаимная площадь излучения поверхностей 1 и 2, м^2 ; T_1 – средняя температура излучающей поверхности (пластины нагревателя), К; T_2 – температура тепловоспринимающей поверхности (конкретной обогреваемой поверхности в рабочей зоне помещения), К.

Приведенная степень черноты участвующих в теплообмене поверхностей определяется соотношением

$$\xi_{1-2} = \left[1 + \left(\frac{1}{\xi_1} - 1 \right) \frac{H_{1-2}}{F_1} + \left(\frac{1}{\xi_2} - 1 \right) \frac{H_{1-2}}{F_2} \right]^{-1}, \quad (3)$$

где ξ_1 – степень черноты излучающей поверхности; ξ_2 – степень черноты облучаемой поверхности; F_1 – площадь поверхности излучения, м^2 ; F_2 – площадь облучаемой поверхности, м^2 .

При использовании для целей отопления помещений электрических панельных нагревателей величина конвективной составляющей теплоотдачи ($Q_{к}$) может быть оценена с использованием известного выражения

$$Q_{к} = \alpha F \Delta t, \quad (4)$$

где α – конвективный фактор теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{см}^2$; F – площадь поверхности теплоотдачи, м^2 ; Δt – разность температур теплоотдающей поверхности и воздуха, окружающего нагреватель, °C.

Образующееся при работе потолочных электрических панельных нагревателей конвективное тепло (нагретый воздух) в полном объеме поднимается вверх (см. рис. 3) к потолку помещения и практически не участвует в обогреве рабочей зоны. Оно обогревает перекрытие помещения и представляет собой бесполезные тепловые потери.

У различных типов конструкций и моделей электрических панельных нагревателей значения $Q_{л}$ и $Q_{к}$, подсчитанные по формулам (2) и (4), в каждом конкретном случае, для одних и тех же условий их применения, имеют неодинаковые величины. Иначе говоря, доли лучистых и конвективных составляющих их теплообмена существенно отличаются. Проведенные исследования убедительно доказали, что

при инфракрасном электрическом отоплении с помощью панельных нагревателей не вся их тепловая мощность передается в рабочую зону излучением (как указывается в каталогах некоторых компаний и фирм-производителей таких нагревательных приборов). При их работе всегда имеют место конвективные потери (Q_k).

Исследованиями электрических панельных потолочных нагревателей, выпускаемых компанией «FRICO», проведенными проф. Шумиловым Р.Н. и его учениками в Уральском государственном техническом университете [5], установлено, что доля лучистой составляющей у этих приборов достигает 60-75%. Остальная же часть их тепловой мощности (25-40%) представляет собой теплопотери, прежде всего конвективные. Компания «Эко Лайн» [4,6] утверждает, что у выпускаемых ею длинноволновых электрических панельных нагревателей с температурой излучающих пластин 250°C 90% тепловой мощности преобразуется в поток тепловых лучей (Q_l) и лишь 10% ее уходит на нагрев воздуха, соприкасающегося с нагревателем (Q_k).

Приведенные выше данные существенно отличаются друг от друга по величине. Но несмотря на эти расхождения следует признать то, что конвективные потери тепловой мощности у электрических панельных нагревателей достаточно ощутимы. Несмотря на наличие ряда весьма существенных достоинств у этого типа нагревателей по сравнению с другими следует задуматься над тем, а нужно ли бесполезно терять упомянутые выше 10÷40% тепловой мощности нагревателей при отоплении помещений? С нашей точки зрения предметом особых исследований должна быть задача снижения этих потерь за счет дальнейшего совершенствования конструкций нагревателей и технологий их применения.

В практике эксплуатации различных систем газового инфракрасного отопления помещений, например, для снижения конвективных потерь тепла используются [7]: дополнительные потолочные вентиляторы, с помощью которых подогретый воздух направляется из теплой верхней «по-

душки» в рабочую зону; улавливание теплого воздуха с помощью специальных зонтов и направление его каналым вентилятором в рабочую зону либо для создания тепловой завесы от холода из окон; использование образующегося конвективного тепла для подогрева приточного свежего воздуха, подаваемого в помещение для воздухообмена и др. Некоторые из этих способов в определенных условиях, при достаточной их доработке, могут оказаться весьма полезными и при инфракрасном электрическом отоплении.

Безусловно, существенную экономию энергоресурсов можно получить также за счет дальнейшего совершенствования методики выбора и расчета систем электрических панельных нагревателей, их размещения в обогреваемых помещениях, а также за счет обеспечения равномерности обогрева площади рабочей зоны. При этом в рабочих зонах должен обеспечиваться оптимальный тепловой комфорт [8,9,10] при минимальных расходах электроэнергии.

Выводы: 1. Одним из направлений решения проблемы энергосбережения при отоплении зданий и отдельных помещений является замена традиционных (особенно централизованных) систем на децентрализованные инфракрасные с использованием электрических нагревательных панелей.

2. При отоплении помещений с помощью электрических панельных нагревателей снижение затрат электроэнергии целесообразно осуществлять прежде всего за счет использования следующих факторов: наличия низкого температурного градиента; наличия прямого нагрева рабочей зоны помещения; низкой инерционности системы отопления; возможности осуществления зонального и точечного обогрева в помещениях; возможности терморегулирования в процессе работы отопительной системы.

3. Уменьшению расходов электроэнергии при инфракрасном способе отопления помещений с использованием электрических нагревательных панелей может способствовать дальнейшее снижение конвективных потерь тепла, имеющих место при работе нагревателей.

4. Дальнейшие исследования и новые разработки в области инфракрасного отопления различных помещений с помощью электрических панельных нагревателей целесообразно продолжить в направлении совершенствования методов их выбора и расчета, а также отработки оптимальной технологии их применения. Главной целью этих разработок должно быть снижение расходов электроэнергии на отопление при обязательном сохранении оптимального теплового комфорта в рабочих зонах помещений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Система потолочного отопления на базе электрических длинноволновых обогревателей. Техническая документация. БИЛЮКС – Отопление суперэкономичное. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bilux.ua>, 2015, – 67 с.
2. Пшеничников В.М. Энергосберегающие децентрализованные системы отопления. Россия. Журнал «Энергосбережение», № 6, 2005, – С.78-79.
3. Инфракрасные обогреватели (Швеция). [Электронный ресурс]. Режим доступа: E-mail: info@electromax.com.ua, 2015, – 4 с.
4. Статьи об инфракрасном отоплении. Компания «Эко Лайн», Россия, 2006, – 19 с.
5. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Поммер А.А. Лучистое отопление – мифы и реальность. АКВАРТ. Статьи и обзоры. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aquart.ru>, 2005, – 4 с.
6. Эффективный обогрев для дома, офиса, цеха и открытых площадок. ЭКО ЛАЙН. НТФ «Украинская промышленность». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://quartza.net>, 2004, – 2 с.
7. Болотских Н.Н. Повышение эффективности инфракрасных трубчатых газовых обогревателей. //Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, вип. 73, 2013. – с. 272-281.
8. Fanger P.O. Thermal Comfort. MC Grow Hill Book Co.New York, 244, h. 1973.
9. Болотских Н.Н. Совершенствование методики расчета систем отопления газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями. //Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, вип. 54, 2009.– с. 76-91.
10. Болотских Н.Н. Тепловой комфорт при инфракрасном отоплении помещений /Н.Н. Болотских/ «Науковий вісник будівництва». Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, вип. 74, 2013,– с. 286-296.

УДК 621.651

Васильєв Є.А., Васильєв О.С.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ОБ’ЄМНИЙ ККД ПОРШНЕВОГО РОЗЧИНОНАСОСА ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ

Постановка проблеми. Як відомо, ефективність роботи машини характеризується величиною її коефіцієнта корисної дії. Для розчинонасоса основним показником ефективності можна вважати так званий об’ємний ККД. Ця величина являє собою відношення дійсної подачі до теоретичної. Особливо важливим цей показник є для поршневих розчинонасосів, які залежно від конструктивного виконання можуть мати об’ємний ККД, що змінюється в межах 75-95%.

Від величини об’ємного ККД залежить подача розчинонасоса, ступінь її пульсації, опір просуванню розчинних сумішей по трубопроводах, зношування тертьових деталей поршневої групи, витрати електроенергії на перекачування сумішей. Тому при розробці конструктивних параметрів поршневих розчинонасосів необхідно враховувати фактори, що сприяють підвищенню об’ємного ККД.

Аналіз останніх досліджень і виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми. На рівень об’ємного ККД розчинонасоса найбільший вплив