

ЭНЕРГЕТИКА

МРНТИ 44.31.35

А.А.Яковлев¹, Е.С.Саркынов¹, Д.М.Алиханов¹,
Ж.З.Жакупова¹, Ж.К. Жанабаева¹

¹Казахский национальный аграрный университет,
г. Алматы, Казахстан

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ СТРУЙНОГО ТЕПЛОВОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТАХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА*

Аннотация. Исследованы разработки струйного теплового модуля по эффективному нагреву воды для использования в автономном теплоснабжении и протекающих процессах на объектах АПК. Предложена усовершенствованная конструкция струйного теплового модуля и приведена его конструктивно-технологическая схема с описанием устройства и технологического процесса. Проведены теоретические исследования по технологии гидронагрева с использованием суммарного эффекта нагрева воды за счёт трения встречных, противоположно направленных слоёв воды вращательного и поступательного движения, сил трения движущихся струй воды и воздуха с разной скоростью и передаче тепловой энергии воздуха воде при воздействии создаваемого вакуума и кавитации. Разработанная конструкция струйного теплового модуля защищена патентом КЗ и по сравнению с аналогами обеспечивает снижение энергозатрат на 30-50 % и повышает качество окружающего воздуха.

Ключевые слова: разработка, струйный тепловой модуль, усовершенствованная конструкция, теоретическое исследование, технология гидронагрева, теплоснабжение.

• • •

Түйіндеме. Осы жылу сорғыш модулін дайындау бойынша суды тиімді жылтумен жабдықтау автономиясын пайдалану және агро өнеркәсіптік кешен (АПК) нысанында ағу процессін зерттеулер нәтижесі. Жылу сорғыш модулін

*Источник финансирования исследования: грантовое финансирование по линии Министерства образования и науки Республики Казахстана.

құрылымдау әбден толық жетілдіруде дайындалған және оны технологиялық процессте және құруды сипаттаумен технологиялық- құрылымдау схемасында өткізген. Гидрожылту технологиясы бойынша теория түрінде зерттеу, судың жылу жиынтық тиімділігін пайдаланумен бағытталған су қабатының айналмалылығының қарама-қарсы кездесуі есебінде жүргізілді және үдемелі қозғалыс, судың сорғалап ағу қозғалысы үйкелісі және ауаның әр түрлі жылдамдығы және су ауасына жылу энергияны беру кезінде жасалған вакуум және кавитацияға әсер ету. Дайындалған жылу сорғыш модулі КЗ патентімен қорғалған және ұқсастықтарымен салыстыру бойынша энергия шығынының 30-50 пайыз төмендеуін қамтамасыз етеді және қоршаған ортаның сапасын арттырады.

Түйінді сөздер: зерттеу нәтижелері, өндеу, сорғалап ағатын жылу модулі, әбден толық жетілдіруді құрылымдау, теория түрінде зерттеу, гидрожылту технологиясы.

• • •

Abstract. Research is given on the development of a jet thermal module for effective water heating for use in autonomous heat supply and ongoing processes at APC facilities. An improved design of the jet heat module has been developed and its design and technological scheme with a description of the devices and the technological process is given. Theoretical studies on the technology of hydroheating with the use of the total effect of water heating due to the friction of oppositely directed water layers of rotational and translational motion, the frictional forces of moving jets of water and air at different speeds and the transfer of thermal energy to water under the influence of the created vacuum and cavitation. The design of the jet heat module developed in Nenets Autonomous District is protected by the KZ patent and, compared to analogues, provides a 30-50 % reduction in energy costs and improves the quality of ambient air.

Key words: research result, development, jet heat module, improved design, theoretical research, hydroheating technology, heat supply.

Введение. Правительством РК в соответствии с Указом Президента Республики Казахстан Н.А.Назарбаева поставлена задача развития сельского хозяйства и решения проблем водоснабжения, электроснабжения, благоустройства, внедрения ресурсосберегающих технологий, разработка эффективных энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии и снижения темпов ухудшения окружающей среды [1].

Статья направлена на повышение эффективности автономного теплоснабжения объектов и технологических процессов в АПК и улучшении экологии окружающего воздуха.

Существующие технологии и оборудование теплоснабжения, в том числе автономное: в топливной энергетике требуют больших капвложений, значительных эксплуатационных расходов и потерь тепла (до 80 %), ухудшая экологию окружающей среды. В электрической энергетике требуют больших затрат энергии, что снижает конкурентоспособность выпускаемой продукции, т.е. существует проблема повышения эффективности автономного теплоснабжения, которую можно рационально осуществить с помощью новой, предлагаемой технологии теплоснабжения с использованием для гидронагрева воды теплового струйного модуля, устраняющего недостатки аналогов. На этом основании выполненные исследования являются актуальными, вполне реализуемыми и практически значимыми [2-4].

Цель – разработка струйного теплового модуля для автономного теплоснабжения, очистки воздуха и технологических процессов на объектах АПК, обеспечивающего снижение энергозатрат на 30-50 % и повышение качества окружающего воздуха.

Ожидаемые результаты – получение усовершенствованной конструкции струйного теплового модуля. Проведение теоретических экспериментальных и лабораторных исследований для дальнейшего обоснования параметров и изготовление экспериментального образца.

Метод исследования. В работе использованы патентные и теоретические методы исследования.

Существует несколько технологий нагрева воды для теплоснабжения промышленных и сельскохозяйственных объектов, в том числе автономных, которые подразделяются на 3 направления:

- теплоснабжение на основе сжигания газа, твёрдого и жидкого топлива;
- использование электрической энергии;
- альтернативные тепловые модули (теплогенераторы), ко-

торые отдают энергию в виде тепла больше, чем забирают из энергосети за счёт изменения динамического состояния самой воды и окружающего воздуха [5-8].

Недостатки первого направления – большие капвложения, эксплуатационные затраты и потери тепла, ухудшающие экологию окружающей среды.

Недостатки второго направления – большие затраты электрической энергии и большая удельная стоимость тепловой энергии, что превышает аналогичные показатели первого направления в 1,5-2 раза.

Недостатки третьего направления – разработка находится в стадии экспериментальных образцов и на рынках сбыта отсутствует.

Предлагаемая технология и технические средства относятся к третьему направлению – разработка альтернативных тепловых модулей (теплогенераторов), а в качестве прототипа могут быть приняты разработки второго направления – электродные нагреватели (котлы).

Разработчиками второго направления являются: ГНУ ВИЭСХ (Россия), РГП "НПЦ механизация сельского хозяйства" (Казахстан), АО "Дельсат" и др. [8-11].

Подобные исследования проводятся в Техническом университете (г.Тверь, Россия), в РКК "Энергия" (Россия). Однако предлагаемое техническое решение в виде струйного теплового модуля по технологии нагрева воды существенно отличается от аналогов, имеет научную и техническую новизну и при проведении прикладных исследований может быть успешно реализовано для автономного теплоснабжения, а также может быть использовано для очистки загрязнённого воздуха от запылённости, твёрдых частиц и запахов и утилизации тепла в отработанных воздушных смесях.

В КазНАУ в ходе предварительных исследований разработан экспериментальный образец струйного теплового модуля [2,3]. Модуль состоит из центробежного насоса, эжектора с соединительной арматурой и ёмкости, заполненной нагреваемой водой. Нижняя часть ёмкости соединена с всасывающим патрубком насоса, а верхняя часть (через эжектор) – с нагнетательным патрубком насоса. В результате образуется замкнутая от-

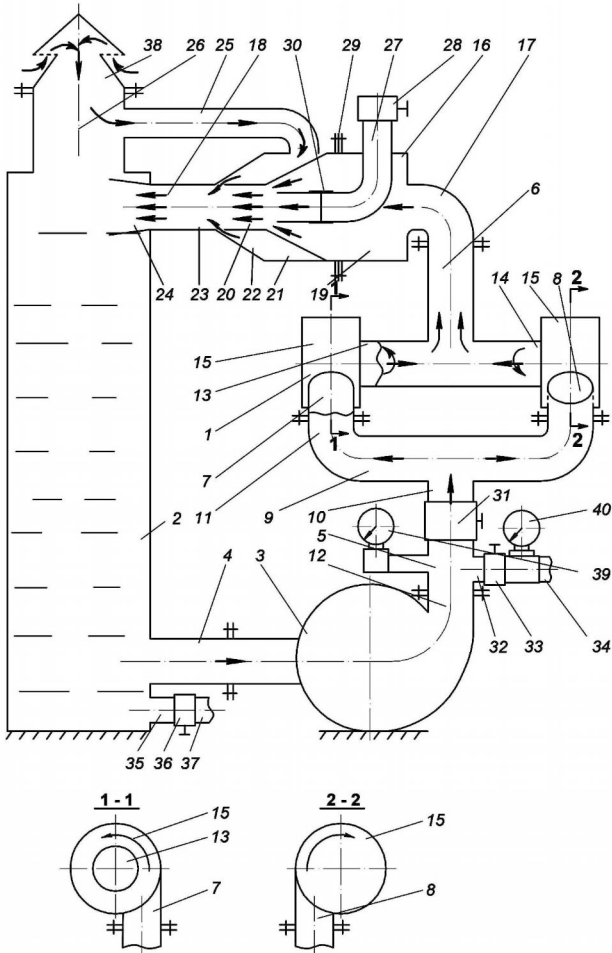
крытая циркуляционная система движения воды при работающем насосе.

Предварительные исследования показали, что предполагаемая альтернативная технология нагрева воды по сравнению с электродными водонагревателями (котлами) снижает энергозатраты на 30-50 % [3]. Однако температура нагрева воды была низкой – лишь до 37 °С.

В казахстанском университете разработана усовершенствованная конструкция струйного теплового модуля (рисунок). Проведенные экспериментальные исследования и лабораторные испытания опытного образца подтверждены положительными результатами [2,4].

Научная новизна технологии теплоснабжения, предложенной в работе, заключается в том, что гидронагрев воды происходит в результате использования суммарного эффекта нагрева воды за счёт трения встречных, противоположно направленных слоёв воды вращательного и поступательного движения, сил трения движущихся струй воды и воздуха с разной скоростью и передаче тепловой энергии воздуха воде при воздействии создаваемого вакуума и кавитации.

Струйный тепловой модуль содержит теплогенераторы 1, бак 2, электронасос 3 и соединяющие их трубопроводы 4,5,6, входные патрубки 7 и 8 теплогенераторов 1 соединены с установленным коллектором 9 с входным 10 и выходным 11 патрубками, который связан через трубопровод 5 с напорным патрубком 12 электронасоса 3. В выходные патрубки 13 и 14 теплогенераторов 1 соединены с теплообразующим устройством 16 и далее с баком 2. При этом теплогенераторы 1 содержат камеры закрутки 15, соединённые между собой через выходные патрубки 13 и 14 соединительным трубопроводом 6 теплообразующего устройства 16 с входным 17 и выходным 18 патрубками. Камеры закрутки 15 теплогенератора 1 установлены к коллектору 9 с асимметричным расположением диагональных патрубков 7 и 8, при которых движение закручиваемой жидкости в камерах закрутки 15 и выход её из выходных патрубков 13 и 14 в теплообразующее устройство 16 направлено с противоположным вращением и навстречу друг к другу.



Усовершенствованная конструкция струйного теплового модуля: 1 – теплогенераторы; 2 – бак; 3 – электронасос; 4,5,6 – трубопроводы; 7,8 – входные патрубки; 9 – коллектор; 10,11 – входной и выходной патрубки коллектора; 12 – напорный патрубок электронасоса; 13,14 – выходные патрубки теплогенераторов; 15 – камеры закрутки; 16 – теплообразующее устройство; 17,18 – входной и выходной патрубки; 19 – подающий патрубок; 20 – активное сопло; 21 – всасывающий патрубок; 22 – пассивное сопло; 23 – смешивательная камера; 24 – диффузор; 25 – трубопровод; 26 – вентиляционный патрубок; 27 – Г-образное пассивное сопло; 28,31,33,36 – вентили; 29 – прокладка; 30 – резьбовое соединение; 32 – отвод; 34 – трубопровод к отопительной системе; 35 – патрубок бака; 37 – трубопровод к обратной линии; 38 – крышка вентиляционного патрубка; 39,40 – манометры

Теплообразующее устройство 16 выполнено в виде соединительного трубопровода 6 и струйного эжектора, включающего подающий патрубок 19 с активным соплом 20, соединённым через патрубок 17 и соединительный трубопровод 6 с выходными патрубками 13 и 14 теплогенераторов 1, всасывающего патрубка 21 пассивного сопла 22, который соединён через смесительную камеру 23 и диффузор 24 с водонагревательным баком 2, сообщаемся в зоне образования вакуума с атмосферным воздухом, например, через трубопровод 25, соединённый с вентиляционным патрубком 26 бака 2. При этом внутри подающего патрубка активного сопла установлено Г-образное пассивное сопло 27, которое сообщается через вентиль 28 с атмосферой установленным коллектором 9 с входным 10 и выходным 11 патрубками, связанным через трубопровод 5 с напорным патрубком 12 электронасоса 3. Выходные патрубки 13 и 14 теплогенераторов 1 соединены с теплообразующим устройством 16 и далее с баком 2. При этом теплогенераторы 1 содержат камеры закрутки 15, соединённые между собой выходными патрубками 13 и 14 соединительным трубопроводом 6 теплообразующего устройства 16 с входным 17 и выходным 18 патрубками.

Активное сопло 20 эжектора 16 выполнено съёмным и по отношению к пассивному соплу 22, регулируемым в осевом направлении посредством, например, регулируемых прокладок 29, а Г-образное пассивное сопло 27 по отношению к активному соплу 20 регулируется, посредством резьбового соединения 30. Входная часть коллектора 9 снабжена вентилем 31, соединённым с нагнетательным патрубком 12 насоса 3 через тройник 5, который снабжён отводом 32 с вентилем 33 для подключения напорной части 12 насоса 3 к отопительной системе трубопроводом 34. Бак 2 для нагреваемой воды в нижней его части снабжён отводным патрубком 35 с вентилем 36 для подключения сливной части отопительной системы трубопроводом 37, а в верхней – вентиляционным патрубком 26 с крышкой 38.

Технологический процесс струйного теплового модуля: запускается центробежный насос 3 через пульт управления. Нагреваемая вода из бака 2 центробежным насосом 3, соединён-

ным всасывающей частью через патрубок 4, подаётся по нагнетательному патрубку 12, тройнику 5 и открытому вентилю 31 в коллектор 9. Далее через входные патрубки 7, 8 и 11 вода поступает в камеры закрутки 15 теплогенераторов 1, в которых вода за счёт напора и тангенциального подвода преобразуется во вращательное её движение и через выходные патрубки 13 и 14 с противоположным вращением и поступательным движением навстречу друг к другу под напором подаётся в теплообразующее устройство 16. В соединительном трубопроводе 6 происходит процесс нагрева воды за счёт трения встречных противоположно направленных слоёв воды вращательного и поступательного движения. Далее частично подогретая вода из соединительного трубопровода 6 поступает по патрубку 17 в струйный эжектор 16, в котором вода, проходя через активное сопло 20 подводящего патрубка 19, создаёт разрежение (вакуум) в Г-образном пассивном сопле 27 и воздух при открытии вентиля 28 засасывается в активное сопло 20. Струи воды и воздуха, двигаются с разной скоростью через сопло 20 и далее через смесительную камеру 23 за счёт сил трения кинетическая энергия воды переходит в тепловую и вода нагревается. Одновременно струя воды и воздуха, выходя из активного сопла 20, создаёт в щелевом отверстии пассивного сопла 21 эжектора разрежение (вакуум), который через воздуховпускной трубопровод 25 засасывает воздух из помещения, который вместе со струйным движением воды, отдавая тепловую энергию воде, поступает в бак 2, где воздух, отделяясь от воды, частично выходит в помещение, другая часть повторно засасывается в струйный эжектор 16.

Струйный тепловой модуль после нагрева воды подключается к системе отопления через отводной патрубок 32, вентиль 33 и трубопровод 34 – к напорной линии, а через патрубок 35 бака 2, вентиль 36 и трубопровод 37 – к обратной линии. Режим работы насоса 3, теплогенераторов 1, струйного эжектора 16 и отопительной системы регулируется вентилями 31, 33, 36 и 28 методом дросселирования и контролируется по установленным манометрам 39 и 40.

Конструкция струйного теплового модуля обладает технической новизной. На техническое решение, защищенное авторским коллективом, получены предпатент KZ № 17788 [12] и патент № 29678 "Струйный тепловой модуль" [13], зарегистрированный в Государственном реестре изобретений Республики Казахстан от 24.02.2015 г., патентообладателем которого является КазНАУ, а авторами – основные разработчики проекта.

Практическая значимость разработки будет заключаться в создании опытного образца теплового модуля с положительными результатами испытаний, в рекомендациях его внедрения на объектах АПК РК и в последующие разработки необходимых типоразмеров опытных образцов для внедрения в системе АПК РК и, возможно, в странах СНГ.

Таким образом, предлагаемая конструкция струйного теплового модуля обеспечивает повышение энергетических показателей, т. е. увеличение КПД вследствие использования суммарного эффекта нагрева воды за счёт трения встречных, противоположно направленных слоёв воды вращательного и поступательного движения, сил трения движущихся струй воды и воздуха с разной скоростью и передаче тепловой энергии воздуха воде при воздействии создаваемого вакуума и кавитации.

Результаты теоретических исследований. Определены аналитические зависимости между основными энергетическими параметрами теплового модуля.

При теоретических исследованиях технологии нагрева воды посредством струйного теплового модуля использовались известные аналитические зависимости с внесением уточнений и изменений в связи с отличительными особенностями исследуемой схемы от известных по литературным источникам [3-5].

Основные энергетические параметры теплового модуля при нагреве воды: количество теплоты Q_T , полученной при нагреве воды определенной массы за единицу времени; полезная P_n и затраченная P_z мощности и полезная W_n и затраченная W_z энергии и КПД η_{TM} теплового модуля.

Для определения энергетических параметров рассматривались следующие функциональные зависимости:

– количество теплоты, полученной при нагреве воды

$$Q_T = f(C, m, \Delta\theta), \text{ ккал} \quad (1)$$

где C – удельная теплоемкость, ккал/кг·град (для воды $C=1$ ккал/кг·град);

m – масса нагреваемой воды, кг:

$$m = V \cdot \rho, \quad (2)$$

где V – объем нагреваемой воды, м³;

$\rho = 1000$ кг/м³ – плотность нагреваемой воды;

$$\Delta\theta = \theta_{\kappa} - \theta_{\mu}, \quad (3)$$

$\Delta\theta$ – повышение температуры нагрева воды, °С:

где $\theta_{\mu}, \theta_{\kappa}$ – начальная и конечная, температура нагреваемой воды, °С;

P_{Π} – полезная мощность и энергия W_{Π} :

$$P_{\Pi} = f(Q_m, A, t), \text{ Вт} \quad (4)$$

где A – механический эквивалент теплоты ($A=4,2$ Дж/ккал, или $0,427$ кГм/ккал, или 427 кГм/ккал, или 4200 Нм/ккал);

t – продолжительность нагрева воды (работы теплового модуля), с;

Q_T – количество теплоты, полученной при нагреве воды, ккал;

$$W_{\Pi} = f(P_{\Pi}, T), \text{ кВт·ч}, \quad (5)$$

где P_{Π} – полезная мощность и W_{Π} кВт;

T – время работы теплового модуля, ч;

P_3 – затраченная мощность;

W_3 – энергия

$$P_3 = f(\rho, g, Q_H, H_p, \eta_H), \text{ Вт} \quad (6)$$

где $\rho = 1000$ кг/м³ – плотность нагреваемой воды;

$g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения;

Q_H – подача насоса теплового модуля при рабочем напоре H_p , м³/с;

H_p – рабочий напор насоса, м;

η_H – КПД используемого насоса в тепловом модуле;

$$W_3 = f(P_3, T), \text{ кВт·ч} \quad (7)$$

где P_3 – затраченная мощность, кВт;

T – время работы теплового модуля, ч;

η_{TM} – КПД теплового модуля:

$$\eta_{TM} = f(Q_T, A, \eta_H, t, g, QH, H_p). \quad (8)$$

Основные энергетические параметры теплового модуля при нагреве воды: количество теплоты Q_T , полученной при нагреве воды определенной массы за единицу времени; полезная P_{Π} и затраченная P_3 мощности и полезная W_{Π} и затраченная W_3 энергии и КПД η_{TM} теплового модуля.

Количество теплоты, полученной при нагреве воды, определяется по формуле:

$$Q_T = C \cdot m \cdot \Delta\theta = C \cdot V \cdot \rho \cdot \Delta\theta, \text{ ккал}, \quad (9)$$

где C – удельная теплоемкость, ккал/кг·град.

(для воды $C=1$ кКал/кг·град.);

m – масса нагреваемой воды, кг:

$$m = V \cdot \rho, \quad (10)$$

где V – объем нагреваемой воды, м³;

$\rho = 1000$ кг/м³ – плотность нагреваемой воды;

$\Delta\theta$ – повышение температуры нагрева воды °С:

$$\Delta\theta = \theta_k - \theta_H \quad (11)$$

где θ_H, θ_k – температура нагреваемой воды начальная и конечная, °С.

P_{Π} – полезная мощность и W_{Π} – энергия:

$$P_{\Pi} = \frac{Q_T \cdot A}{t}, \text{ Вт} \quad (12)$$

где A – механический эквивалент теплоты ($A=4,2$ Дж/кал, или $0,427$ кГм/кал, или 427 кГм/ккал, или 4200 Нм/кКал);

t – продолжительность нагрева воды (работы теплового модуля), с;

Q_T – количество теплоты, полученной при нагреве воды, ккал;

$$W_{\Pi} = P_{\Pi} \cdot T, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (13)$$

где P_{Π} – полезная мощность, кВт;

T – время работы теплового модуля, ч.

P_3 – затраченная мощность;
 W_3 – энергия:

$$P_3 = \frac{\rho g Q_H H_p}{\eta_H}, \text{ Вт} \quad (14)$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность нагреваемой воды;
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;
 Q_H – подача насоса теплового модуля при рабочем напоре H_p , $\text{м}^3/\text{с}$;
 H_p – рабочий напор насоса, м;
 η_{TM} – КПД используемого насоса в тепловом модуле;

$$W_3 = P_3 \cdot T, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (15)$$

где P_3 – затраченная мощность, кВт;
 T – время работы теплового модуля, ч.;
 η_{TM} – КПД теплового модуля:

$$\eta_{TM} = \frac{P_{\Pi}}{P_3} = \frac{Q_T \cdot A \cdot \eta_H}{t \cdot \rho \cdot g \cdot Q_H \cdot H_p} = \frac{C \cdot V \cdot \Delta\theta \cdot A \cdot \eta_H}{t \cdot g \cdot Q_H \cdot H_p} \quad (16)$$

или

$$\eta_{TM} = \frac{W_{\Pi}}{W_3} \quad (17)$$

Результаты и их обсуждение. На основании выполненных исследований разработана усовершенствованная конструктивно-технологическая схема струйного теплового модуля. Описаны её преимущества по сравнению с аналогами, а также устройства и технологический процесс работы. Проведены теоретические исследования для обоснования параметров экспериментального образца, проведения экспериментальных исследований и лабораторных испытаний с положительными результатами.

Прогнозируемые КПД теплогенератора и теплообразующего устройства: 0,85-0,95, КПД струйного теплового модуля – 0,6-0,7.

Выводы

1. По результатам выполненных исследований усовершенствована конструкция струйного теплового модуля, которая обладает новизной: защищена предпатентом и патентом КЗ на изобретение.

2. Получены результаты теоретических исследований по разработанной конструктивно-технологической схеме струйного теплового модуля, которые являются основой для обоснования параметров при разработке его экспериментального и опытного образцов и проведения экспериментальных исследований и лабораторных испытаний с положительными результатами.

3. Результаты исследований могут быть рекомендованы для практического применения.

Список литературы

1 Назарбаев Н.А. Қазақстан – 2030. Барлық қазақстандықтардың өсіп-өркендеуі, қауіпсіздігі және әл-ауқатының артуы. Ел басшының Қазақстан халқына жолдауы. – Алматы РМӨПБ-нің редакциялық баспа бөлімі, 1998. – 112 бет.

2 Яковлев А.А., Алиханов Д.М., Исаханов М.Ж., Саркынов Е., Ибраев Е., Дюсенбаев Т.С., Бекенов А.А. Определение энергетических параметров струйного теплового модуля и результаты предварительных исследований // Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. КазНАУ. – Алматы, 2009. – С. 394-398.

3 Волков И.А., Алиханов Д.М., Яковлев А.А. Результаты экспериментальных исследований режимов работы струйного теплового модуля // Исследования, результаты: механизация и электрификация сельского хозяйства КазНАУ. – 2016. – № 3. – С. 243-248.

4 Фисенко В.В. Новая энергосберегающая технология в системах отопления и горячего водоснабжения // Теплоэнергетика. – 2000. – № 1.

5 Фисенко В.В. Некоторые свойства термодинамики двухфазного потока и их использование в аппаратах "Фисоник" // Промышленная энергетика. – 2001. – № 12.

6 Патент 2155280 RU. Газожидкостный струйный аппарат / Фисенко В.В.; Оpubл. 27.08.2000.

7 Патент 2144145 RU. Способ работы теплогенерирующей установки и струйные теплогенерирующие установки для осуществления способа / Фисенко В.В. Оpubл. 10.01.2000.

8 *Кешуов С.А., Барков В.И.* Математическое моделирование процессов на границе раздела фаз в электродных водонагревателях сельскохозяйственного назначения // Проблемы эффективного использования энергии в отраслях АПК. – Ташкент, 2003.

9 *Кешуов С.А., Барков В.И.* Моделирование процесса выноса потенциала в электродных водонагревателях // Вестн. с.х. науки Казахстана. – 2004. – № 9.

10 *Кешуов С.А., Барков В.И., Калыков Б.Р.* Анализ электрохимических реакций на границе раздела фаз при электродном нагреве // Исследования, результаты. – 2004. – № 2.

11 Предпатент 17788 KZ. Эжектор / Яковлев А.А., Саркынов Е. Оpubл. 15.09.2006 // Бюл. № 9.

12 Патент № 29678 Струйный тепловой модуль / Яковлев А.А., Саркынов Е, Асанбеков Б.А., Алиханов Д.М., Тлеукулов А.Т., Сапаров Н.М. Оpubл.16.03.2015 // Бюл. № 3.

Жанабаева Ж., магистрант, e-mail: Jhanna_17_94@mail.ru