

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора кафедры теоретической, общей и нетрадиционной энергетики Одесского национального политехнического университета Министерства образования и науки Украины **Никольшина Владимира Руслановича**, на диссертационную работу **Гончаренко Владимира Анатольевича** на тему «Интенсификация процессов в тепломасообменных аппаратах с подвижной насадкой для многофункциональных солнечных холодильных систем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования

**Актуальность темы диссертации.** Взаимосвязанные проблемы энергетики и экологии диктуют новые требования к современным холодильным системам, в первую очередь, снижения энергозатрат и антропогенного воздействия на среду обитания. Аналитический обзор отечественных и зарубежных научных и инженерных исследований последних лет показал рост интереса к возможностям испарительных методов охлаждения сред и создания альтернативных систем на их основе. Особый интерес представляют испарительные воздухо- и водоохладители непрямого типа НИОг и НИОж. Построение осушительно-испарительных холодильных систем (СХС) и систем кондиционирования воздуха (ССКВ) на основе открытого теплоиспользующего абсорбционного цикла позволяет снять климатические ограничения применимости испарительных методов в ССКВ и улучшить их энергетические и экологические показатели.

Поэтому цель и задания представленной работы несомненно актуальны. Актуальность темы подтверждается также ее соответствием государственным программам развития энергетического комплекса Украины.

### **Общая характеристика работы.**

Диссертация изложена на 164 страницах машинописного текста, содержит 129 страниц с рисунками и таблицами, и состоит из введения, пяти основных разделов, выводов и списка литературы из 181 наименований.

Во **введении** отражена суть научной проблемы, обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены цель и основные задачи исследования, а также предмет и объект исследования. Диссертационная работа выполнялась в соответствии с законодательными актами: Постанови Верховної Ради України №75/94-ВР від 1.07.94р. що затвердила “Закон України про енергосбереження”, Постанови Кабінету Міністрів України №148 від 5.02.97 р. “Про комплексну державну програму енергосбереження України”, Постанови Кабінету Міністрів України №583 від 14.04.99 р. “Про

Міжвідомчу комісію із забезпечення виконання Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату", Галузевої науково-технічної програми сталого розвитку побутової техніки в Україні на 2006-2011 роки (наказ Мінпромполітики України від 03.03.2006р. № 85). Выполнение работы входило в планы госбюджетной тематики ОНАПТ.

Соответственно требованиям ВАК Украины обозначен личный вклад соискателя в трудах с соавторами, а также приведены сведения относительно апробации работы и публикации ее результатов.

**В первом разделе работы** выполнен аналитический обзор, характеризующий состояние исследований в мире в рассматриваемой области и, в качестве перспективного направления развития солнечной энергетики, выделены многофункциональные солнечные системы осушительно-испарительного типа с непрямо́й регенерацией абсорбента, сформулированы цели и задачи исследования; выявлены и сформулированы научная новизна и основные результаты работы и определена ее практическая ценность.

**Второй раздел** посвящен разработке схемных решений солнечных многофункциональных систем теплоснабжения и кондиционирования воздуха (СХС и ССКВ) осушительно-испарительного типа с непрямо́й регенерацией абсорбента и разработке теплообменной аппаратуры для солнечных систем. Аналитический обзор позволил выделить, в качестве перспективного направления разработок, следующие принципы: солнечные теплоиспользующие абсорбционные системы с непрямо́й регенерацией абсорбента; солнечные полимерные коллекторы СКж; широкое использование ТМА с подвижной псевдооживленной насадкой ПНт-к в осушительном и охладительном контурах систем. Солнечная система включает два контура: осушения воздушного потока и охладительный, в котором охлаждается вода (СХС), или происходит термовлажностная обработка воздуха (ССКВ). Осушительный контур состоит из абсорбера-осушителя наружного воздуха (АБР) с подвижной псевдооживленной насадкой, десорбера-регенератора (ДБР), причем абсорбер нуждается в охлаждении, поскольку в процессе поглощения водяных паров выделяется тепло, а десорбер в подводе тепла для регенерации абсорбента. Задачу охлаждения решает водоохладитель НИОж, а задачу генерирования тепловой энергии солнечная система. Охладительный контур включает испарительный охладитель непрямого типа, - воды НИОж, - либо НИОг, обеспечивающий подачу в помещении воздуха, прошедшего термовлажностную обработку. Воздушный поток (свежий наружный воздух) при осушении в абсорбере АБР снижает влагосодержание  $x$ , что обеспечивает значительный потенциал последующего испарительного охлаждения воды в НИОж или воздуха в НИОг. В качестве ТМА используются разработанные аппараты унифицированного типа с подвижной насадкой сферической формы и размещенным в нем теплообменником (ПНт-к). Это обеспечивает возможность самоочистки рабочих поверхностей и стенок корпуса ТМА, что, при работе с наружным воздухом и растворами абсорбентов, представляется

принципиально важным условием поддержания работоспособности систем. Представлены разработанные варианты испарительных воздухоохладителей НИОг и НИО-Рг. В регенеративном варианте НИО представлено перспективное решение с разделением полного воздушного потока на выходе из «сухой» части охладителя. Для НИО-Рг пределом охлаждения является температура точки росы поступающего в аппарат воздушного потока  $-t_p$ , что существенно расширяет возможности ССКВ. Представлены разработанные варианты водоохладителей НИОж с подвижной насадкой ПНт-к: Б – (вариант 1) объем ПНт-к с расчленением на псевдооживленные слои насадки между элементами теплообменника и В – (вариант 2) объем ПН\*т-к размещен между секциями теплообменника, играющими роль опорно-распределительной решетки ОРР и сепаратора капельной влаги. По таким схемам оформляются и ТМА осушительного контура, АБР и ДБР. В качестве абсорбентов используются водные растворы бромистого лития, с добавками, снижающими коррозионную активность и увеличивающими растворимость.

В абсорбере может осушаться только часть поступающего в НИОг «вспомогательного» воздушного потока, который в контакте с водой рециркуляционного контура обеспечивает охлаждение как «вспомогательного», так и «основного» воздушных потоков в НИОг; разработан и вариант ССКВ, когда в «основные» каналы НИОг поступает смесь наружного воздуха (НВ) и осушенного в абсорбере. СХС имеет формулу ДБР  $\leftrightarrow$  АБР  $\rightarrow$  НИОж. Впервые разработаны принципиально новые варианты СХС и ССКВ на основе абсорбера с внутренним испарительным охлаждением АБРио, а также вариант СХС с охлаждением абсорбера частью охлажденной воды из «продуктового контура» НИОж, что обеспечивает повышение эффективности процесса абсорбции и дальнейшее снижение температурного уровня последующего испарительного охлаждения.

**Третий раздел** посвящен экспериментальному изучению процессов гидро-аэродинамики трехфазного псевдооживленного слоя насадки «газ-жидкость-твердое тело» в свободном объеме (ПН) и с размещенным в его объеме теплообменником (ПНт-к). Экспериментальное исследование выполнялось в режиме для СХС на основе НИОж, с трубчатым типом теплообменных элементов. Использовали два основных варианта размещения теплообменных элементов в объеме слоя ПН: с размещенным в нем вертикальными теплообменными элементами, вариант 1, и с горизонтально расположенными секциями теплообменника, выполняющими роль ОРР в нижней части, и каплеуловителя в верхней части колонны, вариант 2. Важнейшей характеристикой аппаратов с ПН является количество удерживаемой жидкости, или задержка  $N_{ж}$ , определяющая поверхность переноса в п/о слое насадки. В работе был использован циркуляционный метод, основанный на принципе сохранения количества жидкости при работе по замкнутому контуру. В опытах использовали полые целлулоидные шары, величина  $\rho_{ш}$  варьировалась последовательным частичным заполнением водой в контрольных партиях. Величина  $\rho_{ш}$  была принята в оптимальном диапазоне значений ( $\rho_{ш} = 300 - 600 \text{ кг/м}^3$ ), обеспечивающем выход на режим развитого

п/о. Программа исследования охватывала вопросы: гидроаэродинамика подвижного слоя «газ-жидкость-твердое тело» с учетом критических явлений в системе (переход ЭН в псевдооживление, явления гистерезиса и захлебывания слоя ПН); определение рабочих диапазонов нагрузок по газу и жидкости и соответствующих режимов псевдооживления насадки, структуры трехфазного подвижного слоя с учетом задержки жидкости, динамической высоты слоя ПН, порозности и пр.; оптимальный режим работы колонны с подвижной насадкой и соответствующие ему геометрические параметры элементов и слоя ПНт-к, включая влияние  $f_{орр}$ ,  $H_{ст}$ ,  $\rho_{ж}$ , формы и материала ЭН; оптимальный принципа компоновки слоя ПНт-к, включая характер и число теплообменных элементов, располагаемых в объеме п/о слоя.

С практической точки зрения, важным представляется вопрос о характере перехода насадочного слоя из стационарного в подвижное состояние. Предпочтительным для реализации процессов теплообмена в слое ПНт-к представляется диапазон значений эффективной плотности насадочных элементов  $\rho_{ж} = 300 - 600 \text{ кг/м}^3$ , отличающийся широким рабочим участком по  $w_{г}$ , приемлемыми значениями уноса жидкости и сравнительно небольшой динамической высотой слоя. Здесь началу псевдооживления предшествует частичное захлебывание стационарного слоя, а характер перехода системы в подвижность определяет все ее последующее поведение. Характерные особенности: значительно большее значение задержки жидкости в слое  $N_{ж}$  и некоторое увеличение динамической высоты слоя  $N_{д}$  в сопоставимых условиях. Скорость начала «верхнего» захлебывания аппарата  $w_{з}$  (слоя ПН, прижатого воздушным потоком к каплеуловителю) достаточна велика ( $\approx 6 - 7 \text{ м/с}$ ); унос жидкости  $\Delta G_{ж}$  из рабочей зоны невелик практически до значений  $w_{з}$ . Было изучено влияние параметров опорно-распределительной решетки (живого сечения и высоты ОРР на поведение ПНт-к слоя; в качестве оптимального, как и для ПН слоя, рекомендованы значения  $f_{орр} = 75\%$  и  $h_{орр} = 0,1 \text{ м}$ . Влияние высоты стационарной насадки  $H_{ст}$  (0,1 и 0,16 м) было исследовано при значениях  $\rho_{ж} = 300$  и  $600 \text{ кг/м}^3$ . Основной задачей было изучение влияния теплообменных элементов, размещенных непосредственно в слое п/о насадки (ПНт-к) на характер и параметры режимов псевдооживления ПН. Выполнено изучение характера режима «захлебывания» ПН на высоких нагрузках по газовому потоку и выстроены соответствующие инверсионные кривые, что обеспечивает возможность конкретизации рабочего диапазона нагрузок (результат получен для достаточно высоких значений плотностей орошения  $q_{ж} = 15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ). Выделены области начального и развитого п/о насадки и области предельных нагрузок по газу, – инверсионные кривые для всех вариантов размещения теплообменных элементов в объеме п/о слоя насадки в рабочем диапазоне  $\rho_{ж} = 300 \dots 600 \text{ кг/м}^3$ . Показано, что рост величины  $\rho_{ж} = 300 \dots 600 \text{ кг/м}^3$  приводит к увеличению инверсионной скорости и к дальнейшему развитию «верхнего» захлебывания насадки аппарата. Величина задержки жидкости  $N_{ж}$  для слоя ПНт-к имеет определяющее значение. Снижение расхода жидкости (величины плотности орошения  $q_{ж}$ ) ниже некоторого значения приводит к резкому падению величины задержки жидкости в слое, что для

подвижного насадки равносильно падению величины поверхности теплообмена между контактирующими потоками газа и жидкости. Особое значение имеют результаты в области нагрузок где величина задержки жидкости в слое ПНт-к резко падает ( $q_{ж} < 8 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$ ), что ведет к резкому снижению поверхности теплообмена между контактирующими потоками газа и жидкости и резкому падению эффективности процессов испарительного охлаждения как в НИОг, так и в НИОж. Эти данные получены впервые и без них невозможен расчет и проектирование ТМА на основе ПН и ПНт-к.

Исследования ПНт-к\* (слой ПН с размещенными в нем горизонтально расположенными секциями теплообменника играющими роль ОРР и сепаратора капельной влаги КУ). Это решение было принято, в качестве основного и для ТМА осушительного контура солнечной системы, десорбера ДБР и абсорбера АБР. Общие выводы относительно особенностей псевдооживления насадки в вариантах ПН и ПНт-к организации слоя ТМА: – С ростом величины  $\rho_{жн} = 300 \dots 600 \text{ кг/м}^3$  возрастают значения скоростей начального п/о слоя ПН ( $w_0^*$ ) и развитого п/о слоя ПН ( $w_1$ ); для ПНт-к отмечается некоторое снижение величин  $w_0^*$  и  $w_1$  относительно слоя ПН для каждого из значений  $\rho_{жн}$ ; предельная величина рабочей скорости  $w_{п}$  возрастает как для ПН, так и для ПНт-к слоя; – рабочий диапазон плотностей орошения  $q_{ж}$  составляет в среднем  $q_{ж} = 8 - 12 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$ ; снижение расхода жидкости ниже величины  $8 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$  приводит к резкому падению величины задержки жидкости в слое, что для подвижного насадки равносильно падению величины поверхности теплообмена между контактирующими потоками газа и жидкости; зависимость величины капельного уноса из аппарата от  $w_r$ , при:  $\rho_{жн}$  ( $\text{кг/м}^3$ ): 1 – 300, 2 – 400, 3 – 600 впервые полученная для ПНт-к интенсивно возрастает начиная с  $w_r \approx 6.0 \text{ м/с}$ . Основные выводы по разделу достаточно полно отражают полученные результаты.

**Четвертый раздел** посвящен изучению процессов теплообмена в ТМА с ПНт-к (испарительного охлаждения в НИОж и НИОг, и осушения воздуха в АБРт-к). Определение действительной поверхности обмена применительно к аппаратам с ПН является задачей чрезвычайно сложной. Это привело к развитию эмпирических методов, основанных на использовании коэффициентов эффективности процесса. В качестве естественного предела охлаждения воды принято рассматривать температуру воздуха по мокрому термометру на входе в аппарат  $t_m^1$ . На выходе из аппарата, в качестве предельного рассматривают состояние насыщенного воздуха, имеющего температуру поступающей на охлаждение воды  $t_{ж}^1$  (воздух с энтальпией  $h_r^{2*}$ ). Реальные значения эффективности определяются, помимо  $t_m^1$  и  $t_{ж}^1$ , соотношением потоков  $l = G_r/G_{ж}$  (НИОж) и  $l = G_o/G_{в}$  (НИОг). Экспериментальное исследование процесса испарительного охлаждения воды в ГРД (ПН) и НИОж (ПНт-к) позволило выявить влияние  $l = G_r/G_{ж}$  на степень приближения к естественному пределу охлаждения. Рост величины  $l$  обеспечивает большее приближение к пределу, при меньшей степени использования воздуха  $E_r$ ; одновременно возрастает и опасность

реконденсации влаги из потока выбрасываемого в среду воздуха. Степень использования вспомогательного воздушного потока в НИОг со снижением величины  $l = G_v/G_a$  снижается и при этом возрастает опасность реконденсации влаги из выбрасываемого вспомогательного воздушного потока. Исследован характер изменения параметров воздушных потоков (основного «О» и вспомогательного «В») в НИОг: температура воды остается неизменной в цикле и на несколько градусов выше температуры вспомогательного воздушного потока на входе в НИО по мокрому термометру; температуры основного и вспомогательного воздушных потоков снижаются; влагосодержание основного воздушного потока остается неизменным, исследовано также влияние соотношения контактирующих потоков  $l = G_v/G_a$  в НИОг на достигаемый результат охлаждения основного «О» воздушного потока. Эффективность процессов в испарительных водоохладителях непрямого типа изучалась на основе водоохладителей НИОж с ПНг-к и представлена в виде зависимостей  $E_{ж} = (t_{ж}^1 - t_{ж}^2)/(t_{ж}^1 - t_{м}^1) = f(\Lambda)$  и  $E_r = (h_r^2 - h_r^1)/(h_r^{2*} - h_r^1) = f(\Lambda)$ , — на выходе из аппарата. Показано влияние начальных параметров воздушного потока, поступающего в испарительный охладитель НИОж. Определяющее влияние на эффективность процесса оказывает начальное влагосодержание воздуха. Для величины  $l^* = G_{ж}/G_r = 1$  получено самое высокое значение степени охлаждения воды  $E_{ж} \approx 60\%$ .

**Пятый раздел** посвящен разработке и анализу принципиальных возможностей СХС и ССКВ. В рамках работы был создан типоразмерный ряд вентиляторных двухконтурных градирен с подвижной псевдооживленной насадкой ГПНдв (НИОж), включающий полностью автономные секции производительностью 25, 50 и 100 куб. м/ч. по охлаждаемой воде и решенный на основе принципа многоэлементного масштабирования, что существенно снижает влияние проблемы неравномерностей в раздате контактирующих потоков по сечению аппарата. Такие градирни могут автономно использоваться в традиционных энергосистемах (холодильных, криогенных, в химических производствах и пр.) и в составе разработанных СХС.

Представлен развернутый анализ возможностей ССКВ (протекание процессов на Н-Х диаграмме влажного воздуха), включая влияние температуры наружного воздуха (до  $40^\circ\text{C}$ ) и влагосодержания (до  $x^1_B 20\text{г/кг}$ ). Столь высокие значения начальных параметров были выбраны для демонстрации возможностей разработанных солнечных систем. ССКВ обеспечивает получение комфортных параметров воздуха в любых, самых тяжелых климатических условиях планеты. Разработанная солнечная холодильная система СХС (формула ДБР  $\leftrightarrow$  АБР  $\rightarrow$  НИОж и др.) может обеспечить охлаждение воды на уровне  $t_{ж}^2 = 6-10^\circ\text{C}$  и, таким образом, значительно расширить возможность практического использования методов испарительного охлаждения сред, исключая использование традиционных холодильных систем в ряде пищевых, химических и других технологий с существенной экономией энергии. Особо интересны возможности СХС, построенных на охлаждении АБР частью охлажденной в НИОж воды. В среднем разработанные ССКВ и

СХС обеспечивают снижение энергозатрат до 35% по сравнению с традиционной парокомпрессионной техникой.

Был выполнен сравнительный экологический анализ новых решений для солнечных систем (при сравнении СКВ традиционного типа – парокомпрессионной СКВ и двух альтернативных вариантов ССКВ (на основе ТМА с ПН и ПНт-к) на основе методологии и базы данных «Полный жизненный цикл» (ПЖЦ, международные стандарты ISO (ISO 14040, 14041, 14042 и 14043, «ECO-INDICATOR 99», база данных программы «SIMAPRO-6»). Результаты выполненного анализа убедительно свидетельствуют о существенном преимуществе разработанных ССКВ (СХС) на основе подвижной насадки ПНт-к по всем основным экологическим показателям.

**В выводах** отражены основные результаты, которые получены в ходе работы над диссертацией. Анализ результатов и выводов подтверждает, что цель диссертационной работы достигнута, а основные задачи исследования выполнены.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** В работе проведен комплексный анализ рассматриваемой проблемы, а также теоретические и практические аспекты для ее решения. Все разделы диссертации подчинены единой цели исследований и логично увязаны между собою. Полученные результаты, выводы и рекомендации научно обоснованы.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций,** приведенных в диссертации на теоретическом и научном уровнях подтверждаются результатами экспериментально-расчетных исследований и хорошим качественным и количественным согласованием полученных результатов.

**Научная новизна работы, выводов и рекомендаций** состоит в том, что автором, на основе выполненного цикла теоретических и экспериментальных исследований:

- показано, что для создания солнечных холодильных (СХС) и кондиционирующих (ССКВ) систем перспективно использование теплоиспользующего абсорбционного цикла и разработаны схемные решения для многофункциональных солнечных систем; впервые использована в ТМА осушительного и охладительного контуров подвижная псевдооживленная насадка («газ-жидкость-твердое тело»), обеспечивающая возможность эффективной и надежной работы на растворах абсорбентов и предотвращение опасности загрязнений рабочих поверхностей, с размещением непосредственно в слое подвижной насадки теплообменных элементов (слой ПНт-к);
- разработаны принципы конструирования унифицированной ТМА для осушительной и охладительной части солнечных систем с использованием ПНт-к; впервые обоснован переход на ИО непрямого типа (НИОг, НИО-Рг и

НИОж) с размещением непосредственно в слое подвижной насадки теплообменника (слой ПНт-к); аналогичные решения разработаны для десорбера ДБР и абсорбера АБР осушительного контура солнечной системы;

- впервые разработан вариант солнечной системы СХС с охлаждением абсорбера частью охлажденной воды из продуктового контура НИОж, что обеспечивает повышение эффективности процесса абсорбции и снижение температурного уровня последующего испарительного охлаждения;

- впервые, на основе выполненного эксперимента, показано, что оптимальный диапазон  $\rho_{\text{ж}}$  для реализации процессов тепломасообмена в слое ПНт-к составляет  $\rho_{\text{ж}} = 300-600 \text{ кг/м}^3$  и рекомендованы значения нагрузок: для испарительных охладителей (НИОг и НИОж)  $w_1 \cong 2,5-6,0 \text{ м/с}$ ; диапазон нагрузок по жидкости (рециркуляционный контур НИО)  $q_{\text{ж}} \approx 8,0 - 12 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$ ; оптимальное значение соотношения потоков составляет для НИОж  $l = G_{\text{Г}}/G_{\text{Ж}} = 1,1-1,2$ ; для НИОг  $l = G_{\text{О}}/G_{\text{В}} = 1,1-1,2$ ; впервые получены выражения, описывающие значения критических скоростей ( $w'_0, w_1$ ), динамической высоты, потерь напора и эффективности процессов тепломасообмена в слое ПНт-к; впервые выполнено изучение режима «захлебывания» ПНт-к на высоких нагрузках по газовому потоку и выстроена инверсионная кривая, что обеспечивает возможность конкретизации рабочего диапазона нагрузок;

- установлено, что снижение расхода жидкости ниже величины  $8 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$  приводит к резкому падению величины задержки жидкости в слое, что для подвижной насадки равносильно падению величины поверхности тепломасообмена между контактирующими потоками газа и жидкости;

- показано, что разработанная ССКВ (формула ДБР ↔ АБР → НИОг) способна обеспечить получение комфортных параметров воздуха для любых климатических условий земного шара обеспечивая значительное снижение энергозатрат (до 35%); СХС (формула ДБР ↔ АБР → НИОж и др.) может обеспечить охлаждение воды на уровне  $t^2_{\text{ж}} = 6-10^\circ\text{С}$  и, таким образом, значительно расширить возможность практического использования методов испарительного охлаждения сред в ряде пищевых, химических и других технологий с существенной экономией энергии

**Полнота изложения научных положений, выводов и рекомендаций** в опубликованных трудах подтверждается тем, что они полностью изложены в 7 научных статьях (две публикации в журнале Молдавской академии наук), и были представлены в 3 докладах на международных и научно-практических конференциях. Автореферат и публикации с достаточной полнотой и объективностью отражают содержание диссертационной работы и ее основные положения



## ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

1. (стр.7) – COP – коэффициент преобразования, не КПД, так как КПД не может быть больше 1.  
 $q$  – поверхностная плотность теплового потока, а не просто плотность теплового потока, поскольку она еще может быть линейной и объемной.  
 $c_p$  – удельная массовая изобарная теплоемкость, а не просто удельная, так как может быть еще удельная, мольная, и не изобарная.  
 $r$  – теплота испарения – конденсации, а не скрытая теплота парообразования.  
(стр.9) – не ясно, для чего русско-английская терминология приведена в работе.  
(стр.27) – здесь и далее должна быть теплота, а не тепловая энергия.  
Объем работы для кандидатской диссертации слишком велик (300 стр.), из которых половина – это обзор. Обзорную часть можно было бы сократить, по крайней мере, вдвое.
2. (стр.13) – утверждение: «использование солнечной энергии не нарушает тепловое равновесие планеты в целом» не корректно, так как при поглощении большего количества лучистой энергии от Солнца изменяется энергетический баланс, а, следовательно, и тепловое равновесие планеты в целом.
3. В работе имеется ряд неудачных словосочетаний и опечаток. Например: (стр.52) ссылки рис.1.16 и далее до рис. 1.21 должны быть 1.10...1.15; (стр.66) «исследования последних лет [132, 133, 146]» - работы 1993-1995 годов; (стр.192) – в формуле (3.1) отсутствуют необходимые математические знаки; (стр.193) – вместо «с ростом плотности элементов насадки уменьшается скорость начала псевдооживления» должно быть «растет скорость». Имеются также опечатки на стр.200, 205, 225, 284 и др.
4. (стр.52) – при переходе к псевдооживленной насадке (раздел 1.3.2) растет гидравлическое сопротивление слоя. Поэтому следовало учесть увеличение энергетических затрат при таком переходе.
5. (стр.63) – вывод 4 «...позволяет оптимально решать задачу охлаждения или нагрева...» излишне категоричен, поскольку требует дополнительного обоснования, которое в работе отсутствует.
6. (стр.105) – основные задачи исследования уже встречались ранее (см. стр.64), в том числе и энерго-экологический анализ.
7. (стр.191) – влияние плотности элементов насадки на скорости псевдооживления и залипания насадки достаточно очевидно и без проведенных экспериментов.
8. (стр.193) – значения скорости  $w_1 = 1,4 w_0^*$ , а также динамической высоты слоя подвижной насадки в работе фиксировались визуально, что требует дополнительной верификации.
9. (стр.245, 246) – вывод 4.5.1. носит исключительно описательный характер. Вывод 4.5.6 «...с ростом концентрации раствора абсорбента эффективность абсорбции возрастает...» сложно назвать новым.
10. (стр.253) – текст раздела 5.2.1. «рабочие вещества для солнечных абсорбционных систем» во много повторяет текст раздела 4.3.1. с таким же названием.
11. (стр.272-287) – применение экологического анализа и «полного жизненного цикла» представляется интересным, однако, окончательный выбор системы

должен производиться по экономическим характеристикам (например, по термоэкономическим критериям).

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Приведенные замечания не снижают научной ценности и практической значимости выполненного исследования и не влияют на общую положительную оценку работы, содержание которой отвечает (соответствует) паспорту специальности 05.05.14 – Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования

Рассматриваемая диссертационная работа является завершенной квалификационной научной работой, оформленной в полном соответствии государственным стандартам Украины. Она содержит ранее не защищенные научные положения и полученные автором новые научно обоснованные результаты.

Исходя из актуальности проблемы, качественного уровня выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, считаю, что работа **«Интенсификация процессов в теплообменных аппаратах с подвижной насадкой для многофункциональных солнечных холодильных систем»** обладает существенным научным и практическим значением. По актуальности решаемых проблем, научной новизной и оформлению она отвечает требованиям пп. 9, 11 и 13 «Порядку присуждения научных степеней и присвоения ученого звания старшего научного работника», утвержденного постановлением Кабинета министров Украины от 24 июля 2013 года за №567, относительно диссертаций, представленных на соискание степени кандидата технических наук, а ее автор **Гончаренко Владимир Анатольевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической, общей и нетрадиционной энергетики Одесского национального политехнического университета Министерства образования и науки Украины

**В.Р. Никульшин**

Ученый секретарь



**В.И. Шевчук**

Одесса 8.02.2017

Ученый секретарь

Митрофанов В.Г.