

Платицин Павел Сергеевич, Преображенский Владислав Александрович,
Родионов Юрий Викторович

**МЕТОДИКА ПОДБОРА ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ ДЛЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

В статье дан алгоритм выбора существующих и вновь созданных конструкций жидкостнокольцевых вакуум-насосов по основным эксплуатационным характеристикам с учетом требований к технологическим процессам агропромышленного комплекса. Приведены рекомендации по расчету и проектированию жидкостнокольцевых вакуум-насосов по критерию удельной минимальной мощности под производственные возможности заводов-изготовителей.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2012/8/43.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2012. № 8 (63). С. 133-137. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2012/8/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

Ниже показана сводная таблица коэффициентов корреляции R^2 рассмотренных стран, по степени их уменьшения, которая дает наглядное представление, с какой точностью можно прогнозировать значения ВВПс для стран G8.

Табл. Сравнение коэффициентов корреляции R^2 с 1960 по 2006 гг.

№ п/п	Страна	R^2	№ п/п	Страна	R^2
1.	США	0,9994	5.	Англия	0,9726
2.	Канада	0,9960	6.	Италия	0,8771
3.	Япония	0,9737	7.	Россия	0,8494
4.	Франция	0,9751	8.	Германия	0,8335

УДК 621.516

Сельскохозяйственные науки

В статье дан алгоритм выбора существующих и вновь созданных конструкций жидкостнокольцевых вакуум-насосов по основным эксплуатационным характеристикам с учетом требований к технологическим процессам агропромышленного комплекса. Приведены рекомендации по расчету и проектированию жидкостнокольцевых вакуум-насосов по критерию удельной минимальной мощности под производственные возможности заводов-изготовителей.

Ключевые слова и фразы: жидкостнокольцевые вакуум-насосы; технологические процессы агропромышленного комплекса; быстрота действия; предельный вакуум; система рециркуляции; доение; выпаривание; сушка; хранение.

Павел Сергеевич Платицин

Владислав Александрович Преображенский

Юрий Викторович Родионов, к.т.н., доцент

Кафедра «Теория машин и механизмов и детали машин»

Тамбовский государственный технический университет

rodionow.u.w@rambler.ru

МЕТОДИКА ПОДБОРА ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА[©]

При проектировании жидкостнокольцевых вакуум-насосов (ЖВН) для процессов агропромышленного комплекса (АПК) (вакуумная сушка, доение, вакуумное выпаривание, вакуумное хранение) необходимо учитывать все требования конструирования вакуумных насосов, специфические особенности рассматриваемых технологических процессов, а также производственные возможности заводов-изготовителей. Обобщенный алгоритм проектирования жидкостнокольцевых вакуумных насосов и установок на их базе с необходимыми рекомендациями следующий.

На первом этапе выбираются конструкции вакуум-насосов, создающие то или иное остаточное предельное давление, как основной показатель, влияющий на технологический процесс. Для конвективной вакуум-импульсной ступени сушки растительного сырья предельное остаточное давление проектируемого вакуумного насоса выбирается по температуре кипения жидкости в шкафу. Она должна быть меньше, чем температура денатурации биологически активных веществ (БАВ). Так для овощей и фруктов, температура в вакуумном шкафу, при условии сохранения максимального спектра БАВ должна не превышать 55-58°C, что соответствует давлению в вакуумном шкафу не более 13 кПа. Такое остаточное давление устойчиво можно достигнуть двухступенчатыми жидкостнокольцевыми вакуумными насосами (для средних и больших производств). Для лекарственных растений температура денатурации не превышает 40°C, а для некоторых из них еще более жесткие требования к температуре сушки - не более 25°C. В этом случае необходимо применять двухступенчатый жидкостно-пластинчатый вакуумный насос (ЖПВН). Аналогичные требования предъявляются к процессу выпаривания продукции сельхозпроизводителей, только с тем отличием, что диапазон температуры выпаривания колеблется в более широких пределах 50-90°C от упарки соков до дрожжевых суспензий и возможно применение двухступенчатых жидкостнокольцевых вакуумных насосов (для больших производств) и одноступенчатых жидкостнокольцевых вакуумных насосов с регулируемым нагнетательным окном. Для вакуумного хранения остаточное давление колеблется в пределах 20-10 кПа, что однозначно определяет применение одноступенчатых жидкостнокольцевых вакуумных насосов. Машинное доение имеет более низкий диапазон остаточного давления. Исследования показывают, что

максимальный вакуум во время доения должен составлять 50 кПа. При исследовании величины вакуумного режима на процесс доения выявлено, что с увеличением величины вакуума от 40 до 50 кПа отмечается увеличение скорости доения. Ряд авторов отводят решающую роль стабильности вакуумного режима во время доения. Поэтому применять необходимо одноступенчатые ЖВН с неподвижным корпусом или одноступенчатые ЖВН двойного действия для крупных предприятий и одноступенчатые ЖВН с регулируемым нагнетательным окном для средних и мелких сельхозпроизводителей.

На втором этапе выбирается типоразмер вакуум-насоса, характеризующийся быстротой действия (производительностью). Она рассчитывается в зависимости от объемов производства технологического процесса. В некоторых случаях требуется быстрый переход на разные объемы производства, что влечет необходимость использования жидкостнокольцевых вакуумных насосов с изменяющейся быстротой действия [5]. Так при сушке ЖВН используется, во-первых, для продувки теплоносителем (воздухом) растительного материала, нагревая его до определенной температуры - это первая стадия ступени конвективной вакуум-импульсной сушки и, во-вторых, для вакуумирования шкафа до остаточного давления, при котором начинается процесс интенсивного испарения (кипения) влаги из растительного материала. Чтобы снизить энергопотери необходимо в процессе выдержки под вакуумом отводить образовавшиеся водяные пары. Это делает целесообразным использование вакуумной установки включающей два насоса разной быстроты действия. Учитывая скорость продувки, которая лежит в пределах 4-6 м/с и зависит от величины и формы растительного материала, действительная быстрота действия двухступенчатого ЖВН модульного типа определяется по формуле:

$$S_o = \sum_{i=1}^j F_i \cdot \varepsilon \cdot v_{прод.} \quad (1)$$

где F_i - площадь i -го лотка, m^2 ; ε - порозность высушиваемого материала на лотках; $v_{прод.}$ - скорость продувки материала, м/с; j - количество лотков, шт.

Проверочным условием выбора быстроты действия вакуумного насоса для процесса сушки является время вакуумирования, которое определяет величину импульса вытяжки влаги из капилляров растительного продукта. Экспериментально установлено [10; 11] что время вакуумирования одного или нескольких вакуумных шкафов жидкостнокольцевым вакуум-насосом должно лежать в диапазоне от 10 до 20 с, тогда:

$$t = \frac{V_{с.ш.}}{S_o} \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (2)$$

где $V_{с.ш.}$ - объем сушильного шкафа с трубопроводами, m^3 ; p_1 и p_2 - начальное и конечное давление в шкафу, из которого откачивается воздух, кПа.

После вакуумирования сушильного шкафа в целях экономии электроэнергии двухступенчатый ЖВН отключается, однако с целью повышения интенсивности процесса включается одноступенчатый ЖВН с регулируемым нагнетательным окном малой быстроты действия. Для определения быстроты действия одноступенчатого ЖВН с регулируемым нагнетательным окном необходимо знать объемный расход паров, образовавшихся в вакуумном шкафу. С достаточной точностью для проектирования он равен выделившемуся количеству влаги с учетом остаточного давления в шкафу, определяющая плотность пара:

$$V_{\Pi} = \frac{W}{\rho_{\Pi}} \quad (3)$$

где W - количество влаги, экспериментально получено по кривым сушки в зависимости от вида растительного материала, формы и размеров нарезки, кг/с [3]; ρ_{Π} - плотность пара при остаточном давлении и температуре, kg/m^3 .

Учитывая поправочный коэффициент, быстрота действия одноступенчатого ЖВН с регулируемым нагнетательным окном:

$$S_o = 1,1 \cdot V_{\Pi} \quad (4)$$

При работе ЖВН в выпарных установках им создается сначала вакуум до определенного давления, при котором начинается кипение, а затем идет отвод дистиллята. В этом случае быстрота действия насоса определяется по формуле:

$$S_o = \frac{\left(\ln(p) - \ln(p_0) - \ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) + \frac{V_{Б.А.} \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right)}{V_{\Pi.Д.}} \right) \cdot V_{\Pi.Д.}}{t} \quad (5)$$

где $V_{\Pi.Д.}$ - расход паров дистиллята, m^3/c ; $V_{Б.А.}$ - объем выпарного аппарата, m^3 ; p_0 , p_1 , p - начальное, промежуточное и конечное давление в процессе выпаривания, кПа.

При хранении быстрота действия насоса рассчитывается в зависимости от размера вакуум-контейнера, предельного остаточного давления и времени вакуумирования. На основании экспериментальных исследований диапазон времени вакуумирования находится в пределах от 15-25 с в зависимости от физико-механических свойств сельхозпродукции:

$$S_o = \frac{V_{B.K.}}{t} \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (6)$$

где $V_{B.K.}$ - объем вакуум-контейнера, m^3 ; p_1 и p_2 - начальное и конечное давление в вакуум-контейнере, из которого откачивается воздух, кПа.

В процессе доения быстрота действия ЖВН характеризуется расходом воздуха в вакуумной системе:

$$S_o = Q \quad (7)$$

где Q - расход воздуха в вакуумной системе, m^3/c

$$S_o = 1,35 \cdot v \cdot V_{K.C.} \cdot z \cdot (1 - A) \quad (8)$$

где 1,35 - коэффициент несовершенства пульсатора и коллектора, допускающих утечки воздуха при переключении клапанов; v - частота пульсаций, c^{-1} ; $V_{K.C.}$ - объем камер доильных стаканов и трубок одного доильного аппарата, m^3 ; A - коэффициент, учитывающий утечки воздуха из вакуумной системы; z - количество доильных аппаратов, шт.

Коэффициент, учитывающий утечки воздуха из вакуумной системы, определяется по формуле:

$$A = \frac{(100 + \Sigma \alpha)}{100} \quad (9)$$

Утечки $\Sigma \alpha$, имеющиеся в системе, выражаются в процентах к приведенному часовому расходу [8].

Выбор деталей и узлов материала ЖВН зависит от рода жидкости, применяемой в качестве жидкостных поршней и рода перекачиваемой парогазовой смеси. Для сушки, хранения и выпарки необходимо обратить на требования коррозионной стойкости насосов и требованиям СанПиНа, что объясняется непосредственным взаимодействием процессов в основном оборудовании с процессом вакуумирования в ЖВН. Существенные экономические затраты при использовании ЖВН связаны с расходом дополнительной рабочей жидкости. Практически для всех процессов применяется вода. При доении возникает необходимость использовать масло с высокой температурой кипения, для компактности всего доильного комплекса. В этом случае встает необходимость применять универсальные ЖВН с регулируемым эксцентриситетом [9]. Рациональное использование дополнительной жидкости определяет создание рециркуляционных систем и автоматических систем регламентируемой подачи на разных режимах вакуумирования [7]. Для эффективной работы одноступенчатого ЖВН с регулируемым нагнетательным окном в составе вакуум-насосной установки необходимо, чтобы система управления была способна изменять степень открытия заслонки G и расхода дополнительно подаваемой рабочей жидкости q в соответствии с заданными функциональными зависимостями $G = f_1(p)$ и $q = f_2(p)$ при смене величины вакуума p в линии всасывания. По современной классификации подобная автоматическая система управления относится к классу следящих систем. Автоматическая система управления обеспечивает регулирование расхода подаваемой в насос воды и положения заслонки с использованием ПИ-законов регулирования. При этом заданное значение расхода и положения заслонки корректируется в зависимости от текущего значения достигнутой величины вакуума. Коррекция уставок регуляторам расхода и положения заслонки осуществляется по заданными функциональным зависимостям $G = f_1(p)$ и $F = f_2(p)$ [Там же].

Для малых производств АПК применяют систему с частичной рециркуляцией. Для больших и средних производств необходимо создание полной рециркуляции. Она может быть организована по следующим схемам:

- 1) Вакуумные насосы - водоотделитель - водоохладитель - вакуумные насосы.
- 2) Вакуумные насосы - водоохладитель - емкость - вакуумные насосы.

Вторая схема возможна при применении в качестве охладителя рабочей жидкости чиллеров. Чиллеры - это промышленные холодильные агрегаты, которые используются для снижения **температуры жидкости** - этиленгликоля, воды.

Расчет охладителя производим по следующему алгоритму [4]:

- составляем расчетную схему одноступенчатой парокompрессионной холодильной машины (Рис. 1);
- выбираем расчетный температурный режим работы установки;
- строим цикл в диаграмме $IgP-I$ для хладагента;
- определяем дельные характеристики цикла;
- определяем требуемый массовый расход хладагента;
- рассчитываем требуемую теоретическую объемную производительность компрессора V_h ;
- определяем действительную холодопроизводительность компрессора;
- рассчитываем теоретическую, индикаторную и потребляемую мощность привода компрессора;
- определяем тепловую нагрузку на конденсатор по формулам из уравнения энергетического баланса холодильной машины и через удельный расход теплоты на основе цикла холодильной машины выбираем большее значение, обычно получаемое из уравнения энергетического баланса;
- для подбора конденсатора определяем требуемую площадь теплопередающей поверхности конденсатора;
- определяем аналогично требуемую площадь поверхности испарителя.

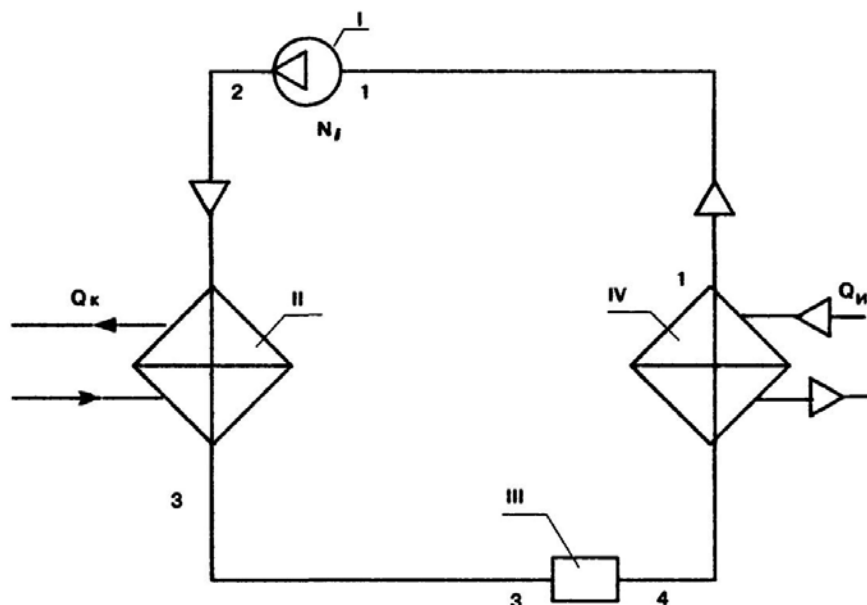


Рис. 1. Схема одноступенчатой парокомпрессионной машины: I - компрессор; II - конденсатор; III - расширительный цилиндр; IV - испаритель

По рассчитанным площади поверхности испарителя, тепловой нагрузке и мощности привода производим подбор холодильной машины. Известно, что водовоздушная смесь состоит из взвешенных капель воды и влажного воздуха. В случае применения в системе рециркуляции водоотделителя (Схема 1) необходимо осуществить его подбор.

В настоящее время применяются различные конструкции водоотделителей [1; 2]. Для разделения водовоздушной смеси предлагаем использовать циклон и его методику расчета, предложенную в работе [3].

На заключительном этапе для повышения эксплуатационных характеристик следует провести уточнения всех конструктивных элементов ЖВН, оптимизируя их по критерию минимальной удельной мощности.

Выводы

1. Предложен алгоритм выбора существующих и вновь созданных конструкции ЖВН по основным эксплуатационным характеристикам (вакуум, быстрота действия) согласно требованиям к вакуумным насосам с учетом требований технологических процессов АПК (вакуумная сушка, выпаривание, хранение, доение).

2. С целью сохранения всех питательных веществ в конечном продукте за счет снижения рабочей температуры процесса сушки и выпаривания необходимо применять двухступенчатые ЖВН, а для сушки лекарственных растений, овощей и фруктов - ЖПВН.

3. Предложены математические зависимости определения быстроты действия ЖВН для этих процессов.

4. Показана схема и расчет рециркуляции рабочей жидкости с полной интеллектуализацией процесса, позволяющей экономить средства сопоставимые с затратами на электроэнергию.

5. Даны рекомендации по выбору материала с точки зрения надежности насосов и экологичности основных процессов.

6. Обосновано применение вида рабочей жидкости и системы рециркуляции.

Список литературы

1. А.С. 1236170 СССР; МКИ F 04 с 7/00, 19/00. Отделитель жидкости / Б. Г. Ситало, А. Е. Соколов, А. А. Деревяка, А. А. Ковалев (СССР). № 3773411/25-06. Заявлено 23.07.84. Оpubл. 07.06.86. Бюлл. № 21.
2. А.С. 1420246 СССР; МКИ F 04 с 7/00, 19/00. Отделитель жидкости / В. А. Максимов, В. А. Пирогов, Л. Г. Рейцман (СССР). № 4167607/25-06. Заявлено 24.12.86. Оpubл. 30.08.88. Бюлл. № 32.
3. Аширов И. З. Оптимизация технологических параметров водокольцевых вакуумных машин, используемых на доильных установках: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2003. 181 с.
4. Белова Е. М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. М.: ЕВРОКЛИМАТ, 2003. 400 с.
5. Пат. 2307261 Российская Федерация, МПК F04C 15/00. Жидкостно-кольцевая машина / Ю. В. Родионов, А. А. Букин, Ю. В. Воробьев, Р. А. Дубовицкий, В. Г. Однолько, М. М. Свиридов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тамб. гос. техн. ун-т». № 2006105991/06. Заявл. 26.02.2006. Оpubл. 27.09.2007. Бюлл. № 27. 5 с.
6. Попова И. В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Тамбов, 2009. 161 с.
7. Регламентация расхода дополнительной жидкости в ЖВН с автоматическим регулированием размера нагнетательного окна / Ю. В. Родионов и др. // Материалы за 8-а международна научна практична конференция «Динамиката на съвременната наука». София: Изд-во «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2012. Т. 13. Технологии. С. 18-21.

8. Родионов Ю. В., Попов В. В., Шестаков В. Е., Максимов В. А. К вопросу выбора вакуумных насосов для доильных установок // IX научная конференция: пленарные доклады и краткие тезисы. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. Ч. 1. С. 294.
9. Родионов Ю. В., Селиванова П. И., Волков А. В. Способ регулирования эксцентриситета в жидкостнокольцевых вакуум-насосах // Международная научно-практическая конференция «Составляющие научно-технического прогресса»: сборник научных статей. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006, С. 88-90.
10. Сушка пищевых растительных материалов / Г. К. Филоненко и др. М: Изд-во «Пищевая промышленность», 1971. 440 с.
11. Шацкий Д. А. Совершенствование конструкции конвективной вакуум-импульсной сушки плодово-ягодного сырья: дисс. ... магистра по программе 150400.22. Тамбов, 2011. 79 с.

УДК 532.59

Физико-математические науки

В статье приводится решение неоднородного уравнения Гельмгольца для вертикального смещения линии тока с помощью функции Грина, удовлетворяющей принципу причинности. Основное внимание в работе автор акцентирует на вкладе в решение первых угловых гармоник при отсутствии завихренности в стратифицированном потоке. Распределение силовых источников, моделирующих цилиндр, выбирается из выполнения условия непротекания на его поверхности.

Ключевые слова и фразы: уравнение Гельмгольца; функция Грина; вертикальное смещение линии тока; задача Дирихле; задача Неймана.

Ольга Анатольевна Пыркова, к. физ.-мат. н., доцент

Кафедра высшей математики

Московский физико-технический институт (государственный университет)

opyr@mail.ru

РЕШЕНИЕ НЕОДНОРОДНОГО УРАВНЕНИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА ДЛЯ СМЕЩЕНИЯ ЛИНИИ ТОКА[©]

Для вертикального смещения линии тока $\bar{\xi}$ было получено неоднородное уравнение Гельмгольца [5]:

$$\frac{\partial^2 \bar{\xi}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{\xi}}{\partial \bar{y}^2} + k_0^2 a^2 \bar{\xi} = \bar{f}_y + \bar{\Omega}_0 \quad (1)$$

с граничным условием типа Дирихле:

$$\bar{\xi} = \sin \theta \quad (2)$$

Здесь: $\bar{x} = \frac{x}{a}$, $\bar{y} = \frac{y}{a}$ - безразмерные горизонтальная и вертикальная, соответственно, координаты точки;

a - радиус обтекаемого цилиндра; $k_0 = \frac{N}{U_0}$, где U_0 - скорость набегающего невозмущенного потока, а

$N^2 = -\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0}{\partial y}$ частота Брента-Вейселя; $\bar{f}_y$ - силовые источники, моделирующие цилиндр [4].

Решение уравнения (1) может быть представлено через функцию Грина [3], удовлетворяющую принципу причинности [2; 4; 6]. Завихренность в потоке представляется в виде суперпозиции завихренности в следе и завихренности около обтекаемого цилиндра, выражение для которой можно представить в виде разложения в ряд по синусам. Распределение силовых источников, моделирующих цилиндр, выбирается исходя из выполнения условия непротекания на его поверхности с учетом влияния завихренности.

Функция Грина для краевой задачи с однородными краевыми условиями [3]. Линейная краевая задача

$$L\Phi(x) = f(x) \quad (x \in V) \quad (3a)$$

$$B_i \Phi(x) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, N; x \in S) \quad (3b)$$

представляет данную функцию $f(x)$ как результат линейной операции L над неизвестной функцией $\Phi(x)$ в области V , удовлетворяющей заданным краевым условиям (3b) на ее границе S . Если возможно записать соответствующую *обратную операцию* в форме линейного интегрального преобразования

$$\Phi(x) = \int_V G(x, \eta) f(\eta) dV(\eta) \quad (4)$$

для каждой возможной $f(x)$, то ядро $G(x, \eta)$ называют **функцией Грина для данной краевой задачи** (3).