

Использование современных информационных технологий для моделирования перспективных энергоустановок

Представлен сервер Московского энергетического института, дающий возможность проводить «облачные» моделирования энергоустановок. Даны несколько примеров использования такой технологии.

Ключевые слова: «облачный» сервис, моделирование, перспективные энергоустановки.

USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES FOR SIMULATION OF ADVANCED POWER TECHNOLOGIES

A server of the Moscow Power Engineering Institute is presented which gives an opportunity to conduct “cloud” simulation of advanced power technologies. Several examples of using such approach are introduced.

Keywords: «cloud» service, simulation, refrigerants, advanced power technologies.

Введение

В списке 10 «ИТ-переворотов» (событий, которые серьезно изменят жизнь пользователей компьютеров в течение ближайшего времени) на первом месте стоит развитие так называемых облачных вычислений («cloud computing») – предоставление заказчику удаленных вычислительных мощностей, дискового пространства и каналов связи. Вместо физических серверов заказчикам выделяются виртуальные серверы, которые будут развернуты на распределенной сети компьютеров промышленной мощности. Пользователю «облаков» не нужно заботиться ни об инфраструктуре, ни о программном обеспечении продукта. Достаточно иметь выход в интернет.

Основными преимуществами «облачных вычислений» для потребителей является отсутствие необходимости закупать соответствующее оборудование, программное обеспечение, экономия энергоресурсов, удобство.

Во многих областях деятельности сейчас делаются попытки использовать эту технологию для решения определенных задач. Не обошла стороной эта технология и сферу энергетики в разных ее про-

явлениях (образование, наука, инженерные расчеты и т.д.).

Результаты исследований и анализ разных схем и типов энергоустановок можно найти в специализированной литературе (монографии, диссертации, статьи и т.п.), которая не всегда является доступной и, учитывая многофакторное влияние многих параметров на работу таких установок, дает не всегда полную картину зависимости показателей их работы от влияющих факторов.

Часто возникают ситуации, когда нужно решить конкретную задачу моделирования или исследования режимов работы энергоустановки при конкретных условиях, но нет возможности построить саму модель (нет соответствующих программных средств, знаний в области программирования, времени и т.д.). Кроме того, при моделировании энергоустановок требуются специальные программные продукты для определения теплофизических свойств рабочих веществ.

Использование современных интернет-ресурсов, в частности «облаков», уже в определенной степени освещено в литературе, но, во многих случаях, оно дает возможность получать или только

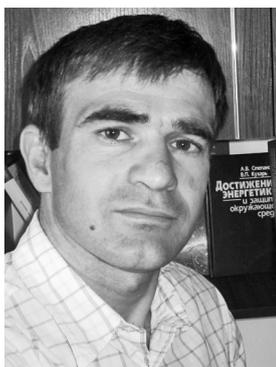
справочную информацию, или дополнительно исследовать уже существующие, достаточно изученные энергоустановки [1, 2].

1. Постановка цели

Целью данной работы является дальнейшая разработка принципов создания и реализации технологии «облачных вычислений» для моделирования процессов новых, мало изученных теплоэнергетических установок, на примере сервера, который был создан в Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт» с использованием технологии Mathcad Calculation Server (www.vpi.ru/mas), который позволяет обращаться к Mathcad-документам дистанционно через интернет.

2. Принципы создания технологии «облачных вычислений» для моделирования перспективных энергоустановок

Среди проанализированных подходов моделирования перспективных энергоустановок на основе использования «облачных вычислений» выбраны методы,



Владимир Анатольевич Воложук,
к.т.н, доцент
Тел.: (810-380) 0362-22-22-09
Эл. почта: Volodya-28@yandex.ru
Национальный университет водного
хозяйства и природопользования,
г. Ровно, Украина
http://nuwm.rv.ua

Vladimir A. Voloshchuk,
National University of Water
Management and Nature Resources Use,
Rovno, Ukraine, Cand.Sc.,
Associate Professor
E-mail: Volodya-28@yandex.ru



Валерий Федорович Очков,
д.т.н., профессор
Тел.: 8 (495) 362-71-71
Эл. почта: OchkovVF@mpei.ru
Национальный исследовательский
университет
«Московский энергетический
институт», г. Москва, Россия
http://www.mpei.ru

Valeriy F. Ochkov,
National Research University
(Moscow Power Engineering Institute),
Moscow, Dr. of Science, Professor
E-mail: OchkovVF@mpei.ru

базирующихся на использовании интернет-ресурсов, которые содержат информацию о теплофизических свойствах рабочих тел, а также об энергоустановках и реализуют открытые интерактивные алгоритмы. Соответственно этим алгоритмам данные интернет-ресурсы выдают пользователю численные результаты по свойствам рабочих тел, показателям и критериям эффективности перспективных энергоустановок при заданных граничных условиях, а также графическую иллюстрацию полученных результатов. При этом значения необходимых исходных данных вводятся пользователем в интерактивной форме. Наряду с численными и графическими данными такие интернет-ресурсы предоставляют для пользователя также дополнительную информацию, а именно: а) методику расчета, б) использованные формулы и математический вид программы, включая последовательность действий, в) Mathcad-документ в виде копии данной программы [3].

При этом пользователь может изучить, а также и перенести на собственный персональный компью-

тер математические формулы для расчета энергоустановок (рис. 1).

3. Примеры реализации технологии «облачных вычислений» при моделировании перспективных энергоустановок

Парогазовые установки (ПГУ) с котлами-утилизаторами (КУ) на сегодняшний день являются одними из самых перспективных энергетических установок [4].

Важным элементом тепловой схемы рассматриваемого типа ПГУ является КУ.

На сервере www.vpu.ru/mas с адресом <http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Calculation-KU.xmcd> размещен «облачный» тепловой, гидравлический и аэродинамический расчет вертикального одноконтурного КУ в составе ПГУ, который позволяет решать ряд задач при проектировании и оптимизации как самого котла, так и ПГУ в целом.

При составлении программы данного расчета использованы рекомендации, формулы и уравнения, приведенные в [4–7]. Для определе-

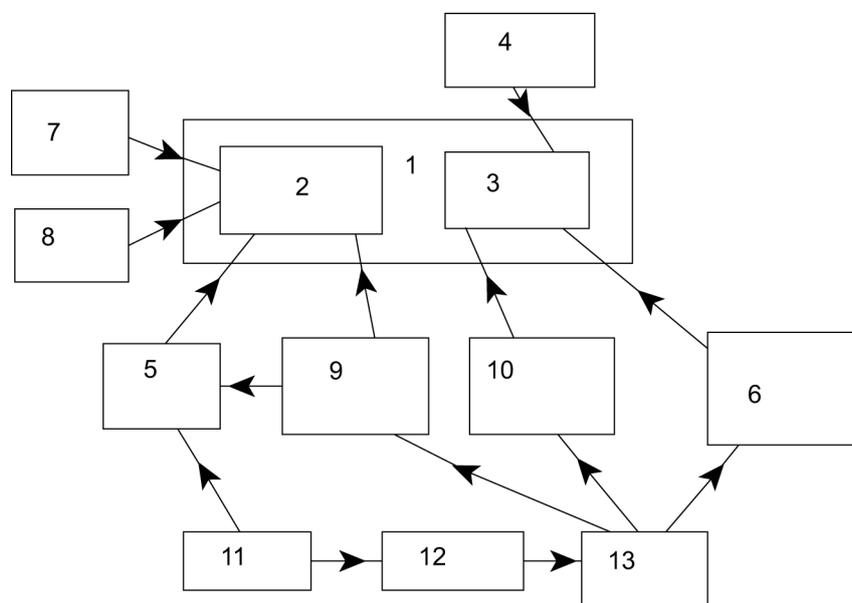


Рис. 1. Открытый интерактивный алгоритм для моделирования энергоустановки, его функциональные связи и объекты [3]:

- 1 – открытый интерактивный алгоритм для теплофизического моделирования энергетических критериев энергоустановки;
- 2 – часть, связанная с расчетными формулами;
- 3 – часть, связанная с информатикой и интернет-ресурсами;
- 4 – информатика;
- 5 – Mathcad;
- 6 – интернет-ресурсы;
- 7 – теплофизика;
- 8 – энергоустановка;
- 9 – открытая интерактивная программа в среде Mathcad;
- 10 – операторы, обеспечивающие размещение и функционирование программы, которая обеспечивает расчет на сервере;
- 11 – персональный компьютер пользователя;
- 12 – интернет;
- 13 – сервер и интернет-портал

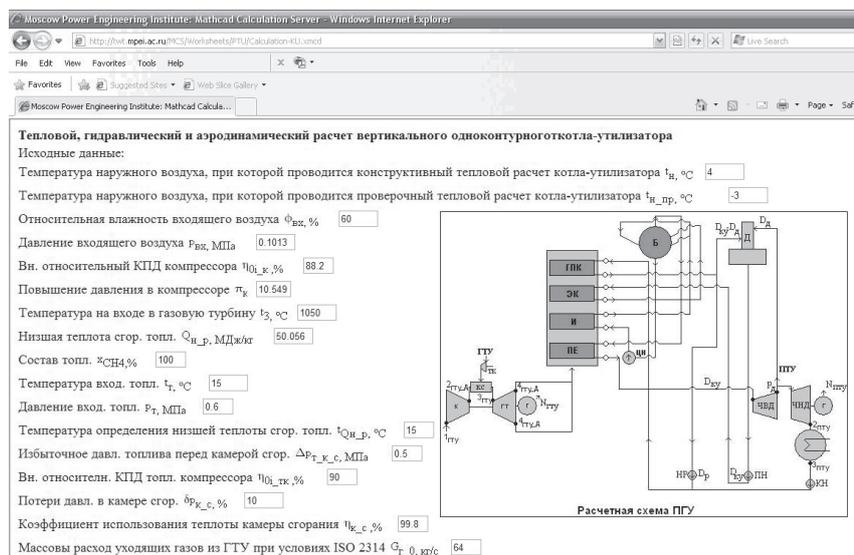


Рис. 2. Фрагмент подготовленного по технологии Mathcad Calculation Server блока исходных данных для расчета котла-утилизатора

ния теплофизических свойств рабочих тел использовалась сертифицированная программа WaterSteamPro (<http://www.wsp.ru/>), которая разработана специалистами Московского энергетического института.

Пример блока исходных данных, подготовленный по технологии Mathcad Calculation Server приведен на рис. 2. Необходимо отметить, что на рис. 2 представлена только часть исходных данных. В общем случае блок исходных данных состоит из необходимых данных параметров наружного воздуха, параметров газотурбинной установки, параметров генерируемого в КУ пара и некоторых конструктивных характеристик, которые необходимо задавать изначально.

Итак, пользователь, находясь на сайте <http://tw.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Calculation-KU.xmcd>, введя в интерактивном режиме свои исходные данные, которые находятся в специальных ячейках (технология Mathcad Calculation Server), и нажимая «живую клавишу» Recalculate, может провести тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты одноконтурного КУ в составе ПГУ, результаты которых представлены как в табличной, так и в графической форме.

Отличительной особенностью расчета данного КУ является то, что в зависимости от параметров наружного воздуха изменяются па-

раметры выхлопных газов ГТУ (закономерность изменения режимов работы ГТУ задается в исходных данных) и, следовательно, режим работы КУ. Это условие учтено при составлении и реализации рассматриваемого открытого интерактивного алгоритма.

Конструкторский расчет КУ выполняют для некоторых базовых

параметров наружного воздуха (в исходных данных специально для этого вводится температура наружного воздуха, при которой проводится конструктивный тепловой расчет) в зависимости от разновидности ПГУ. Цель конструкторского расчета – определить площади поверхностей нагрева, геометрию отдельных элементов при заданных условиях. Сконструированный при одной конкретной температуре наружного воздуха КУ должен обеспечить надежную и экономичную работу во всем возможном диапазоне изменения характеристик окружающего воздуха.

На рис. 3 в качестве примера представлены результаты выполненного при помощи рассматриваемой технологии «облачных вычислений» конструкторского расчета КУ при температуре наружного воздуха $t = +4^{\circ}\text{C}$.

Проверочный расчет (тепловой, гидравлический и аэродинамический) КУ выполняют при принятом профиле поверхностей нагрева для всех прочих режимов работы в зависимости от параметров наружного воздуха, нагрузки ГТУ, типа

Конструктивные параметры котла-утилизатора при расчетной температуре наружного воздуха $t_{\text{н}} = 4^{\circ}\text{C}$				
"Поверхность нагрева"	"ПЕ"	"И"	"ЭК"	"ГПК"
"Число труб в ряде, шт"	41	41	41	41
"Число параллельно вкл. рядов труб, шт"	2	5	1	1
"Число параллельно вкл. труб, шт"	82	205	41	41
"Число рядов труб по высоте, шт"	4	20	16	4
"Число рядов в блочном пакете, шт"	4	20	16	4
"Число ходов нагреваем. раб. тела, шт"	2	4	16	4
"Высота блоков, м"	0.34	1.68	1.34	0.34
"Площадь поверхности нагрева, м ² "	955.74	4778.68	3822.94	955.74
"Внутренний диаметр труб, мм"	27	27	27	27
"Толщина трубы, мм"	2	2	2	2
"Шаг ребер, мм"	5	5	5	5
"Высота ребра, мм"	13	13	13	13
"Толщина ребра, мм"	1	1	1	1
"Поперечный шаг труб, мм"	72	72	72	72
"Продольный шаг труб, мм"	84	84	84	84
"Длина оребренной трубы, l _{тр} =b, м"	7	7	7	7
"Ширина газохода, м"	3	3	3	3
"Площадь для прохода газов, м ² "	10.61	10.61	10.61	10.61
"Площадь для прох. паровод. раб. тела, м ² "	0.05	0.12	0.02	0.02
"Скорость продуктов сгорания, м/с"	14.14	11.58	8.87	7.82
"Скорость нагреваемого раб. тела, м/с"	12.32	1	0.45	0.69

Рис. 3. Результаты конструкторского расчета КУ

Мoscow Power Engineering Institute: Mathcad Calculation Server - Windows Internet Explorer
 http://tw.t.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Calculation-KU.xmcd

File Edit View Favorites Tools Help

Moscow Power Engineering Institute: Mathcad Calcula...

Параметры работы котла-утилизатора при температуре наружного воздуха $t_{н_пр} = -3^{\circ}\text{C}$

	"ПЕ"	"И"	"ЭК"	"ГПК"
"Поверхность нагрева"	"ПЕ"	"И"	"ЭК"	"ГПК"
"Температура наружного воздуха, С"	-3	-3	-3	-3
"Расход выходных газов, кг/с"	67.86	67.86	67.86	67.86
"Температура газов на входе, С"	542.382	490.103	263.31	179.898
"Температура газов на выходе, С"	490.103	263.31	179.898	142.541
"Средняя температура газов, С"	516.242	376.706	221.604	161.219
"Избыток воздуха в газах"	3.115	3.115	3.115	3.115
"Средний температурный напор, С"	184.999	79.947	39.829	81.334
"Средняя скорость газов, м/с"	14.519	11.953	9.1	7.989
"Коэффициент теплоотдачи, α_2 , Вт/(м ² К)"	945.992	8955.087	4538.27	4732.147
"Коэффициент теплопередачи, к, Вт/(м ² К)"	29.988	46.015	39.835	34.538
"Аэродинамическое сопротивление, Па"	127.016	505.823	293.656	62.944
"Расход пара/воды, кг/с"	9.83	98.297	9.83	16.462
"Давление пара/воды на входе, МПа"	3.922	3.922	4.314	0.121
"Давление пара/воды на выходе, МПа"	3.9	3.922	4.118	0.121
"Удельный объем рабочего тела на выходе, м ³ /кг"	0.075	0.051	0.001	0.001
"Температура рабочего тела на входе, С"	249.185	245.211	105.493	60
"Температура рабочего тела на выходе, С"	399.723	249.185	245.211	98.865
"Средняя температура рабочего тела, С"	324.454	247.198	175.352	79.432
"Средняя скорость рабочего тела, м/с"	12.709	1.047	0.475	0.722

Рис. 4. Результаты поверочного теплового, гидравлического и аэродинамического расчетов КУ при заданной температуре наружного воздуха

сжигаемого топлива. В результате определяют параметры и количество генерируемого пара, параметры газов по тракту котла, его гидравлическое и аэродинамическое сопротивление. На рис. 4 для примера показаны результаты поверочных расчетов КУ при температуре наружного воздуха $t = +3^{\circ}\text{C}$, которые получены при помощи предложенных интернет-ресурсов.

Аналогичные результаты можно получить и при других исходных параметрах, что дает возможность дальнейшего анализа рассматриваемой энергоустановки.

Сейчас разрабатываются аналогичные открытые интерактивные алгоритмы, но для ПГУ в целом. Реализация таких алгоритмов даст возможность решать уже не только отдельные задачи проектирования составных частей ПГУ, но и проводить уже комплексную технико-экономическую оптимизацию ПГУ.

Еще одной перспективной технологией в энергетике на сегодняшний день являются тепловые насосы. Эти установки позволяют

использовать дешевую низкотемпературную теплоту окружающей среды для довольно широкого спектра потребителей (теплообес-

печение жилищно-коммунального сектора, процессы сушки и т.п.) и существенно снизить негативное влияние энергетики на окружающую среду.

Во многих странах такие технологии являются довольно новыми. Поэтому исследование режимов работы, технико-экономическое обоснование и оптимизация теплонасосных систем для конкретно заданных технических условий, существующих или прогнозируемых цен представляет большой интерес, как для России, так и для Украины.

Для решения этих и других задач на сервере www.vpu.ru/mas создан и совершенствуется ряд «облачных» ресурсов по тепловым насосам.

Ниже приведен пример решения задачи технико-экономического обоснования использования теплового насоса для обеспечения нужд отопления и горячего водоснабжения. «Облачный» ресурс для решения данной задачи размещен по адресу <http://tw.t.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Vv-31.xmcd>.

Аналогично, как и в предыдущем примере, сначала представлен блок исходных данных, который включает в себя климатическую информацию региона проектирования теплового насоса, набор технологи-

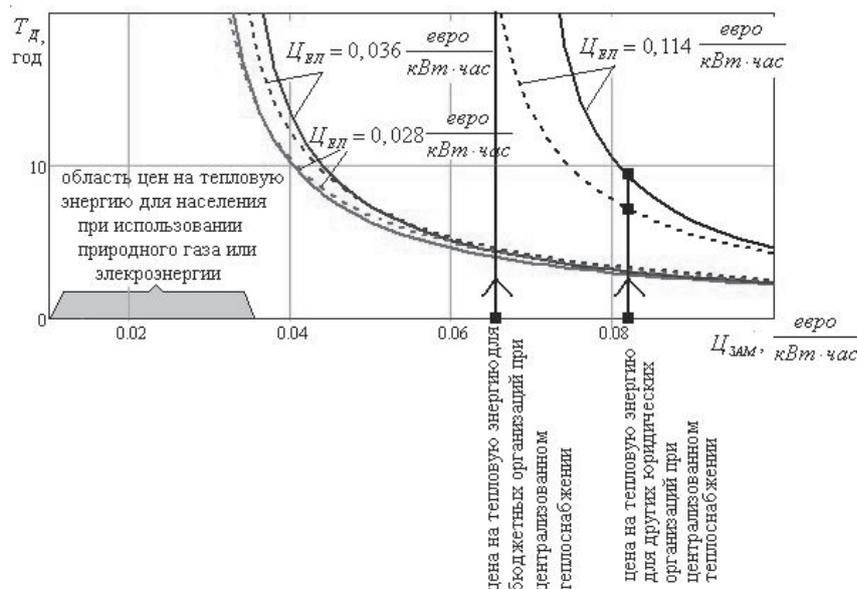


Рис. 5. Влияние цен на дисконтированный срок окупаемости (T_d) внедрения теплового насоса в условиях Украины (г. Ровно):

тепловой насос покрывает 50% установленной тепловой мощности; сплошные линии – в качестве пикового источника теплоты используется электрический котел; штриховые линии – в качестве пикового источника теплоты используется газовый котел

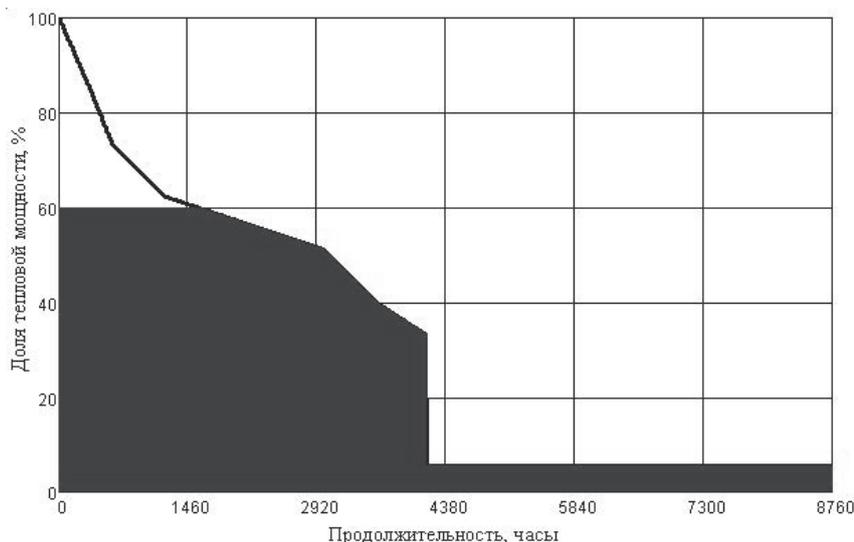


Рис. 6. Пример распределения между базовой и пиковой тепловой нагрузкой

ческих параметров данной установки и набор данных о ценах на энергоносители, оборудование и т.п.

Итак, изменяя поочередно какой-то параметр, например цену тепловой энергии от замещаемого (или альтернативного по отношению к тепловому насосу) источника теплоты, можно при помощи данного интернет-ресурса получить массивы зависимостей целого ряда показателей (как конечных, так и промежуточных) теплового насоса от введенных исходных данных. Такие зависимости можно привести, например, в виде графиков или таблиц для дальнейшего анализа.

Для примера, на рис. 5 представлены результаты исследований, выполненных при помощи «облачного» интерактивного открытого алгоритма <http://twt.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Vv-31.xmcd>, зависимости дисконтированного срока окупаемости (T_D) внедрения теплового насоса от цены тепловой энергии (C_{3AM}) альтернативного источника теплоты, цены на электрическую энергию ($C_{эл}$), которая используется для привода теплового насоса, цены на тепловую энергию для пикового нагревателя в условиях Украины.

Из рис. 5 можно сделать вывод, что при существующих на Украине ценах на энергоносители, использование теплового насоса для нужд отопления оправданно только для большинства юридических ор-

ганизаций, где цены на энергоносители выше и более реалистичны, чем для населения, где цены еще довольно низкие.

Как правило, при теплообеспечении жилищно-коммунального

сектора, тепловые насосы проектируются на покрытие не полной, а так называемой базовой тепловой нагрузки. Некоторая часть нагрузки, так называемая пиковая нагрузка, покрывается пиковым источником (электрический нагреватель, пиковый газовый котел и т.д.). Пиковые тепловые нагрузки имеют место во время очень холодных периодов и на протяжении довольно короткого промежутка времени (рис. 6).

Доля покрытия базовой или пиковой тепловой нагрузки, как правило, определяется на основании технико-экономического обоснования. Это относится к решению оптимизационной задачи, в которой нужно учесть довольно широкий спектр влияющих факторов (климатические условия, технологические параметры, стоимостные факторы и т.д.)

На рис. 7 показаны примеры технико-экономического обос-

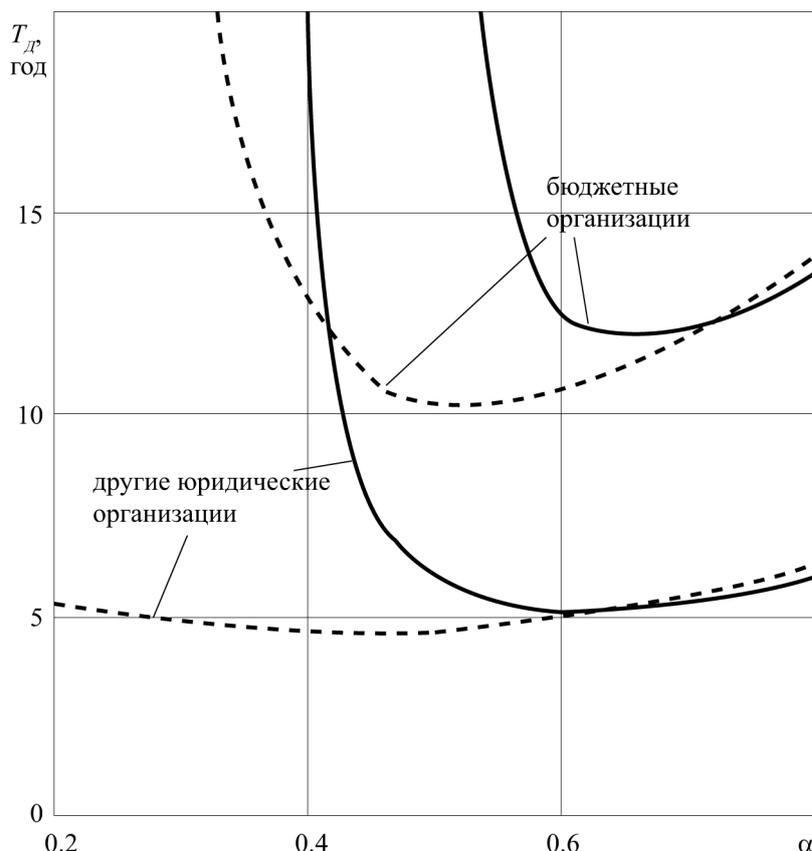


Рис. 7. Влияние коэффициента покрытия тепловой нагрузки теплового насоса (α) на дисконтированный срок окупаемости (T_D) внедрений теплового насоса в условиях Украины (г. Ровно):

сплошные линии – в качестве пикового источника теплоты используется электрический котел; штриховые линии – в качестве пикового источника теплоты используется газовый котел

вания при помощи разработанного открытого интерактивного алгоритма (<http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Vv-31.xmcd>) доли базовой тепловой нагрузки (α), покрываемой тепловым насосом в условиях Украины (г. Ровно).

Из рис. 7 можно сделать вывод, что для принятых исходных данных оптимальная доля покрытия тепловым насосом нагрузки составляет 50...60%, поскольку в этом случае дисконтированный срок окупаемости – минимальный.

Заключение

Использование математического пакета Mathcad, сетевым публикатором которого является Mathcad Calculation Server, позволяет проводить в сети Интернет «облачные» расчеты, не прибегая к помощи сторонних программистов.

Показанные в работе примеры использования «облачного» сервера www.vpu.ru/mas доказывают, что технология «облачных вычислений» может эффективно решать задачи моделирования работы энер-

гетических установок, как с образовательной целью, так и при решении инженерных и научных задач.

Представленные сайты общедоступны, постепенно расширяются, расчеты корректируются и добавляются, что также является существенным преимуществом, по сравнению, например, с бумажными источниками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №12-08-90900-моб_снг_ст).

Литература

1. Очков В.Ф., Александров А.А., Волощук В.А., Дорохов Е.В., Орлов К.А. Интернет-расчеты термодинамических циклов // Теплоэнергетика. – 2009. – № 1. – С. 77–80.
2. Александров А.А., Орлов К.А., Очков В.Ф. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: интернет-справочник. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 224 с.
3. Очков В.Ф., Устюжанин Е.Е., Знаменский В.Е. Анализ Интернет-объектов, содержащих информацию о теплофизических свойствах рабочих тел // Труды Академэнерго. – 2011. – № 1. – С. 110–123.
4. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / под ред. С.В. Цанева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
5. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). – 2-е изд. – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 200 с.
6. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод). – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
7. Гидравлический расчет котельных агрегатов: (нормативный метод). – М.: Энергия, 1978. – 256 с.