

СИМУЛАЦИОННИ ПРОГРАМИ ЗА СЛЪНЧЕВИ ТЕРМИЧНИ СИСТЕМИ

Мая Стоянова¹, Лиляна Такева², Румен Стойков¹

¹Централна Лаборатория по Слънчева Енергия и Нови Енергийни Източници,
БАН, София, e-mail: mayasto@abv.bg, rstoykov@abv.bg

²Лесотехнически университет – София, e-mail: takeva@abv.bg

РЕЗЮМЕ

Един от приоритетите на българската икономика и енергетика е оптималното оползотворяване потенциала на възобновяемите енергийни ресурси. Инвеститори и инженери все по-често се сблъскват с въпроси свързани с вземане на оптимални решения по отношение на слънчевите термични системи, слънчевия добив и полученото количество енергия. На световния пазар се предлагат множество симулационни програми за оценка на слънчевата топлинна енергия - такива за прогнози на добива, оразмеряване на слънчеви топлинни системи, оптимизиране на процесите в тях и др. В настоящото изследване е представен сравнителен анализ на симулационни програми за слънчеви термични системи. Предложена е класификация според процеса на програмиране и са разгледани модели представители на направената класификация. Предлага се кратко описание на всеки инструмент, придружено с описание на силните и слабите му страни. В таблица се предлага сравнителна информация за разгледаните модели, като необходима квалификация на ползвателя, брой потребители на програмата, категория ползватели, необходими компютърни платформи, език на програмиране, цена и др. Представената информация ще е от съществена полза за инженери, конструктори, университетски преподаватели и студенти работещи в областта на ВЕИ.

Ключови думи: възобновяеми енергийни източници, слънчеви термични системи, симулационни програми, модели, енергийна оценка.

УВОД

Човечеството навлезе в етап на енергийна нестабилност, вследствие намаляването на световните запаси от конвенционални горива, тенденцията за силно нарастване на потреблението на енергия и заплахата от глобалното затопляне и промяна на климата. Световната общност насочва усилията си в намиране на решения за излизане от глобалните енергийни проблеми. За решаването на тази задача се изисква използването всички налични възможности, като използване на чисти технологии за преработване на конвенционалните източници, рационално използване на енергията и не на последно

място възобновяемите енергийни източници (ВЕИ). Те предлагат част от отговорите за решаване на икономическите и екологични проблеми. ВЕИ технологиите вече се използват като средство за борба с климатичните промени чрез намаляване на емисиите на вредните газове и начин за откриване на нови работни места чрез развитието на нови промишлени производства. Слънчевата топлинна енергия намира различни приложения в бита и производството. В днешно време при планиране и приложение на слънчевата топлинна енергия могат да се използват редица симулационни програми. Основни потребители на тези програми са про-

ектанти, фирми работещи в областта на термичното преобразуване, научни работници, преподаватели и студенти. Симулационните програми се използват за прогнози на добиви и оценки, планиране, оразмеряване на слънчеви топлинни системи, оптимизиране на процесите и добива. Чрез тълкуване на симулационни програми е възможно сравняване на резултати предизвикани от използване на различно оборудване. Симулационният модел представлява абстрактно описание на изследваната система. Използват се едно-, дву- и триизмерни симулационни модели. Например, нуждите от отопление и охлаждане на сграда могат да се покажат с триизмерна симулация. Познаването на видовете симулационни програми и техните индивидуални възможности ще улесни избора при проектиране на слънчеви системи.

1. ВИДОВЕ СИМУЛАЦИОННИ ПРОГРАМИ ЗА СЛЪНЧЕВИ ТЕРМИЧНИ СИСТЕМИ

В зависимост от процеса на програмиране, симулационните програми могат да се класифицират в четири групи – изчислителни програми, програми време и стъпка, симулационни системи и помощни програми и инструменти. *Изчислителни програми* – Изчислителните програми са прости и използват статистически методи и изчисления. Типични представители на изчислителните програми са „RETScreen“, „F-Chart“ и др. *Програми време и стъпка* – Тези програми позволяват динамична оценка в рамките на цикъла. Симулацията е направена на основа на метеорологични данни. Представители на този вид програми са „Polysun“, „Getsolar“, „T*SOL“. Най-използваната програма в Европа в категорията на динамичните анализатори е „T*SOL“. *Симулационни системи* – Този

тип програми се използват за сложни или по-големи системи над 100 m². Симулационните системи са в състояние да решат сложни взаимодействия в сградата между отделните видове потребители на топлинна енергия. Най-добре познат и лидер на пазара на симулационните системи е програмата „TRNSYS“. *Помощни програми и инструменти* – Към помощните програми спадат: програми за компоненти (абсорбер, бойлер и други компоненти), общи симулационни програми („Polysun“, „T*SOL“ и др.), програми с приложими изчисления („Solar Cash“), слънчеви онлайн калкулатори и програми библиотеки с метеорологични данни за – радиацията, климат, диаграми за орбита на слънцето на населеното място. („METEONORM“, „SUNDY“)

1.1. НЯКОИ ПРЕСТАВИТЕЛИ НА СИМУЛАЦИОННИТЕ ПРОГРАМИ ЗА СЛЪНЧЕВИ ТОПЛИННИ СИСТЕМИ.

Прегледът на симулационни програми за слънчеви топлинни системи показва голямо разнообразие на пазара. От програми за оценка на потенциала, прогнози, планиране, анализ, оразмеряване, проектиране, оптимизиране, избор на компоненти и др. до симулационни програми за образователна цел. Някои представители на симулационните програми по преценка на авторите са разгледани по подробно. Дадено е кратко описание на посочената програма, експертите и държавата разработили програмата както силните и слабите страни при използване.

RETScreen – (Natural Resources Canada, CANMET, Energy Technology Center – Varennes, Canada). Разработен по поръчка на Канадското правителство от множество международни експерти. Предлага се безплатно на 36 езика. Намалява разходите за предпроектни проучвания и разпространенията на знания. Соф-

туерът е приложим за оценки на ВЕИ, в това число на слънчеви системи за гореща вода, като се извършва стандартен анализ в пет стъпки – енергиен анализ, анализ на разходите, анализ на емисиите, финансов анализ и анализ на риска. Включени са база данни за продукта, проекти, цени, климатични и хидрологични данни (6500 наземни станции по цял свят и спътници на НАСА), линкове към световни карти на енергийни ресурси, ръководство на потребителя в мрежата, курс за обучение за колеж и университет. *Силни страни:* Лесно изпълнение на прединвестиционни проучвания за ВЕИ.

AREP – (Assessment of Renewable Energy Potential, България). Модел за оценка на енергийния потенциал (теоретичен и технически) на ВЕИ в това число на активна слънчева енергия на местно ниво. Подходящ за първична оценка на теоретичния и технически потенциал и изготвяне на прогнози. Моделът е разработен на български и английски. *Силни страни:* Универсален модел, подходящ за изработване на енергийни планове.

F-Chart – (University of Wisconsin, S. A. Klein and W. A. Beckman, САЩ). Оразмеряване и анализ на слънчеви топлинни системи. Програмата се използва при стандартни слънчеви топлинни системи за едно и две фамилни жилища. Има търговски и образователни приложения. Чрез метода се определят топлинни характеристики на слънчеви системи за подгряване на вода. Точността на програмата по отношение на получените резултати са достатъчни в сравнение с тези от програми „време стъпка“. *Силни страни:* Лесен интерфейс. Могат да се добавят климатични данни, отчита два ъгъла на наклона и работи с всички версии на Windows.

Polysun (Vela Solaris AG, Швейцария). Софтуер за симулация на възобно-

вяема енергия, програма за проектант и инсталатори на енергийни системи. Предлагат се пет продукта – слънчеви топлинни системи, термопомпа, PV, и системи за слънчево охлаждане. Проектирането се реализира в пет стъпки: избор на данни за времето в целия свят; определяне на хидравличните схеми: битова гореща вода, отопление, плувен басейн, технологична топлина, централно отопление; определяне на потребители: дневно или годишно потребление на гореща вода, топлинна енергия за сграда, натоварване и др.; оразмеряване на системата: колектори, резервоари, помпи, теплообменници и др.; резултати и оценка: PDF отчети, икономически резултати, енергийните потоци, графично представяне на резултатите. Използва се за симулация на големи слънчеви системи, плувни басейни и *Силни страни:* Бърза симулация, подходяща за слънчеви топлинни системи.

*T*SOL* (The solar design company, Германия). Професионален инструмент за проектант, инженери и енергийни специалисти, за планиране, анализ и симулация на слънчеви термични системи. Използва се и за образователни цели от университетите и изследователски институти. Резултатите се представят във вид на графика и диаграма. Има два допълнителни модула за плувен басейн и мащабни системи. В програмата е интегриран климатичен модул *MeteoSyn*. Предлагат се версии *Express*, *Professional*, *SysCat* – модул за плувни басейни и онлайн калкулатор. *Силни страни:* Не изисква обучение, удобен за ползване, точни изчисления.

Getsolar – (Hottgenroth company, Германия). Компютърна програма за симулиране на комбинирани слънчеви системи за производство на слънчева топла вода и отопление. Използва се като инструмент за бързо планиране и оразмерява-

не на слънчеви топлинни системи. Слънчевата база данни може да бъде разширена с помощта на WetSyn.

TRNSYS (Thermal energy systems specialists: Франция, Испания, Германия и САЩ). Симулационен софтуерен продукт с модулна структура, подходящ за подробни анализи на системи, поведението на които зависи от времето. Предлага разнообразни технически симулации на енергийната система. *TRNSYS 16 – TRANSOL* е софтуер за проектиране, изчисляване и оптимизиране на слънчеви топлинни системи. Разполага с богата база климатични данни и симулира поведението на слънчева термична система навсякъде по света. Програмата може да избере компонентите на системата – колектори, бойлери и др., да изчисли различни конфигурации на слънчеви системи за топла вода за отопление плувни басейни, слънчеви системи за охлаждане. *Силни страни:* Гъвкава система за моделиране на енергийни системи, графичен интерфейс, много уеб базирани данни, обширна документация. *Слаби страни:* Предварителна подробна информация за системата и да се въведе в *TRNSYS*

EnerCAD (Женева, Швейцария). Топлинния баланс оптимизиране на сгради и следене на активния слънчев потенциал в реално време. Оценка на потенциала на термични слънчеви колектори за производство на топла вода. Разполага с незабавна обратна връзка относно ефекта на всеки параметър. *Силни страни:* ръководство, малко време необходимо за въвеждане на данни. *Слаби страни:* опростен метод за изчисление на месечния топлинен баланс.

Energy Periscope (Energy Matters LLC, САЩ). Професионален модел за оценка и финансов анализ. Инструмент за продажба и маркетинг на една или няколко технологии енергийни решения –

термично преобразуване на слънчевата енергия, слънчеви басейни, PV системи, вятърна енергия, проекти енергийна ефективност. *Силни страни:* Интуитивен, лесен за ползване интерфейс, разработва доклади за една или няколко технологии енергийни решения, посочва и обяснява най-добрите инвестиции за ВЕ с цел максимална ефективност. *Слаби страни:* Не е инженерингов инструмент.

Energy software programs for education use (Department of Energy Technology Renewable Energy Laboratory. Technological Educational Institution of Athens, Greece). Софтуерът представлява пакет от 6 взаимно свързани енергийни програми разработени с образователна цел. Първите три се използват за симулиране на енергийни системи, а останалите три за оценка на параметри, като могат да се използват самостоятелно или във връзка с първите три програми. Програмите са съответно: мултимедийна програма за активна слънчева система за топла вода (определя въздействието на голям брой параметри върху топлинната ефективност на системата); симулация на термичното поведение на сграда; оразмеряване на слънчеви топлинни системи; графично представяне на видимото движение на слънцето върху небесния свод; изчисляване на термофизичните свойства на газовете и течностите, за желана температура; представяне на резултатите в диаграма.

MC4Suite 2009 – Sunny Cad (Mc4Software LLC, САЩ). Симулационна програма за планиране, проектиране, дизайн и оптимизация на слънчеви топлинни системи. Модулът *Sunny Cad* предлага конфигурации, определя наклон и азимут на колектора, брой и конфигурации на резервоари, изчислява производителността на системата, разходите и спестяванията на слънчеви отоплителни

системи за гореща вода. *Силни страни:* Бързо съставяне на доклади и изчисления. *Слаби страни:* Познания по Auto CAD.

Panel Shading (Company Sustainable By Design, САЩ). Позволява оптимизиране на геометрията на плоски слънчеви колектори, чрез визуализиране на годишна база, касаеща сянка между редовете за всеки час, ден, всеки месец от годината. Резултата е представен в диаграма. Настройката на наклона, разстоянията, могат да сведат до минимум критичните периоди. *Силни страни:* Незабавна визуализация на голям набор от данни, лесен за използване. *Слаби страни:* Предназначен за стационарни модели (без системи за проследяване).

RadOnCol (company Build It Solar, САЩ) Програмата предоставя данни за пряката и косвена радиация, погълната от плоски слънчеви колектори за дадено местоположение (географско положение) и ориентацията (азимут и ъгъл на наклона) на колектора като функция от час, ден, месеци и година. *Силни страни:* Лесно и бързо използване, лесен интерфейс. *Слаби страни:* Не се взема в предвид облачността. Не трябва да се използва като инструмент за оценка на общата енергия, събирана за дълъг период.

SolarPro 2.0 (САЩ). Симулира работата на слънчева активна система за топла вода и отопление, по часове за една година, като използва десетки променливи включени в симулацията. Резултатите се получават в диаграми и електронни таблици. *Силни страни:* Подробна и точна симулация.

SolDesigner (DreSys, Германия). Нова система за проектиране, хидравлични пресмятания и контрол на слънчеви топлинни инсталации. Определя колекторната площ, бойлерите, технологичните детайли и оценка на произведената енер-

гия. *Силни страни:* Работно проектиране на слънчеви системи. *Слаби страни:* Не дава симулирани добиви на енергия, само оценка.

MINSUM (версия 4) (International Energy Agency, Solar Heating, Vattenfall Utvecklings AB, по оригиналната версия от Studsvick AB, Швеция). Програмата MINSUN изчислява топлинната мощност на слънчевия колектор на база работните температури и слънчевата топлинна енергия за всички сезони. Могат да бъдат избрани плоски и вакуумнотръбни колектори. Старите програми са в DOS. Аналог на тази програма в TRNSYS е уиндос версията UMSORT наречена WINSUN.

Poolsol (Teknologiskt Institut, Дания). Специално написана програма за открити басейни със слънчева гореща вода. Предлагат се подробни модели за басейни, слънчеви колектори и допълнителни детайли. *Силни страни:* Голяма свобода на избор за въвеждане на данни. *Слаби страни:* Климатичните данни ограничени.

Watson (Version 1.2) (Simulation laboratory, Университета във Ватерло). Програма за стандартни модели за открит и закрит басейн с и без активна слънчева енергия. Има опция за оразмеряване на традиционни слънчеви системи. *Силни страни:* Програмата може да работи и с месечни стойности за климатичните данни.

Meteonorm 6 (Meteotest, Швейцария). Каталог на метеорологични данни и цялостна метеорологична справка, използвани при слънчеви приложения за целия свят. Програмата има 20 годишен опит в разработване на база данни. Използва над 8000 метеорологични станции, които разполагат с дългогодишни текущи месечни и годишни средни стойности. Базата данни включва температура на въздуха, скорост и посока на вятъра, радиация и др. *Силни страни:* Дава бързи и срав-

нително точни данни за всяко място на Земята. *Слаби страни:* Качеството на получените данни варира в зависимост от региона.

2. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

За оценка и анализ на подробно проучените симулационни програми се използва сравнителна таблица (табл. 1).

Избраните критерии са: брой потребители на програмата, специалисти ползватели, специални познания необходими при използване на дадената програма, компютър и софтуер, език на програмиране, цена на програмата и наличие на демо версия.

Таблица 1. Резултати от изследването

Модел	Брой потребители	Ползватели	Спец. познания	Компютър	Език на програмиране	Цена	Демо версия
Ener CAD	над 500 лиценза	Инженери и архитекти университети	не	Windows	Open Script, C++	от 40CHF до 480CHF	да безплатна
Energy Periscope	над 3000	Специалисти ВЕИ и енерг. ефективност	да	Всеки компютър	Отговаря на САЩ стандарти	Уеб-базиран софтуер абонамент	безплатен период 30 дни
MC4Suite 2009 – Sunny Cad	международна	ОВ и ВЕИ специалисти, инженери	Auto Cad	Двухъдрен Процесор, Windows XP	C++ и Delphi	да	-
Panel Shading	международна	ОВ и ВЕИ специалисти	не	Всеки уеб браузър	Javascript	безплатно	-
Polysun	над 20000	ОВ и ВЕИ специалисти, инженери	Познаване на Microsoft Windows	Windows Vista, XP, 2000	Java	от 100\$ студенти до 1950\$ за проектантите	безплатна
Rad On Col	нова програма	слънчеви инженери	не	Windows XP	Visual Basic.NET	безплатно	-
RET Screen	135000 от 222 страни	инженери, проектантите преподаватели	не	Windows 2000, XP, Vista	Excel, Visual Basic, C#	безплатно	-
SolarPro 2.0	нова програма	слънчеви инженери	основни познания	Windows 95	Visual Basic	99.00\$ CD-ROM	да безплатна
Sol Designer	Немски ез.	слънчеви инженери	не	Windows Excel	Excel	50DM	Да безплатна
Energy software	Учебна програма	студенти, преподаватели	Windows	Windows			да
T*SOL	над 1000, вече международна.	слънчеви специалисти, университети	не	Windows 95, 98, 2000	Borland Pascal	да 520 EUR	да безплатна
TRNSYS	над 500	Инженери, проектантите	Fortran	Windows 98 и по-висока	Fortran и C++	Търговска 4500, учебна 2250\$	безплатна
F-Chart	ползвана от 1975г.	студенти, инженери	Основни познания	всеки версии на Windows		600\$	да
Getsolar		специалисти, инженери	не	Windows Vista, XP, 7		безплатно	да

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компютърните симулации са се превърнали в част от математичното моделиране на много природни системи по физика, химия, биология, икономика, в процеса на инженеринг на нови технологии и др. Те използват някои алгоритми от чисто математични модели, които намират аналитични решения на проблемите и по този начин дават възможност за прогнозиране на поведението на системата като набор от параметри и начални условия. Познаването на съществуващите симулационни програми за слънчеви термични системи ще улесни работата на специалистите в тази област. Резултатите от изследването са полезна информация при избор на инструмент за решаване на енер-

гийни задачи в областта на ВЕИ и в частност на слънчевите термични системи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахаopoulos P., Pitsilis G., Panagakis P. (2002). Multimedia education program for an active solar hot water system. *International Journal of Solar Energy*, 22 2, pp. 83–92.
2. Duffie J.A., Beckman W.A. (1991). *Solar engineering of thermal processes*, Wiley, New York.
3. *Planning and Installing Solar Thermal Systems. A guide for installers, architects and engineers*, 2010, second edition, by Earthscan Ltd publishes in association with the International Institute for Environment and Development, London, Washington.
4. <http://www.discoversolarenergy.com/resources/software.htm>
5. <http://apps1.eere.energy.gov/>
6. <http://www.retscreen.net/bg/home.php>
7. <http://www.solarthermalworld.org/>

SOLAR THERMAL SYSTEMS' SIMULATION PROGRAMS

Maya Stoyanova¹, Liliana Takeva², Rumen Stoykov¹

¹Central Laboratory of Solar Energy and New Energy Sources, BAS, Sofia,
e-mail: mayasto@abv.bg, e-mail: rstoykov@abv.bg

²University of Forestry – Sofia, e-mail: takeva@abv.bg

ABSTRACT

The optimum utilization of the renewable energy potential is one of the priorities of the Bulgarian economy and energetic. Investors and engineers increasingly often face questions connected with taking the best solutions concerning solar thermal systems, solar yield and the quantity of delivered energy. World market offers a great number of simulation programs for solar thermal energy assessment: yield prognosticating ones, others for solar thermal system sizing, process optimization, etc. A comparative analysis has been made in the present study of the stimulation programs for solar thermal systems. A classification is suggested according to the process of programming and examination made of models representing the classification. Each of the instruments is described in short together with an account of its good and weak points. A table presents information for the different model comparison based on users' necessary qualification, number of program users, users' category, the computer platforms needed, program language, prices, etc. The information presented can serve a substantial advantage for engineers, constructors, university lecturers and students working in the field of RES.

Key words: renewable energy sources, solar thermal systems, simulation programs, models, energy assessment.