

[DOI:10.26104/NNTIK.2023.33.83.005](https://doi.org/10.26104/NNTIK.2023.33.83.005)

*Турсунбаев Ж.Ж., Смаилов Э.А., Кунелбаев М.М.,
Абдыкадыров А.Б., Калчаева З.И.*

КҮН ЖЫЛУУЛУК МЕНЕН ЖАБДУУ СИСТЕМАСЫН МОДЕЛДӨӨ

*Турсунбаев Ж.Ж., Смаилов Э.А., Кунелбаев М.М.,
Абдыкадыров А.Б., Калчаева З.И.*

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

*Zh. Tursunbaev, E. Smailov, M. Kunelbaev,
A. Abdykadyrov, Z. Kalchaeva*

SIMULATION MODELING OF SOLAR HEATING SYSTEM

УДК: 662.997

Күн жылуулук системалары (СТС) энергия муктаждыктарын канааттандыруу үчүн туруктуу жана экологиялык таза чечимдерди табуу контекстинде барган сайын маанилүү болуп баратат. Күн жылуулук системаларын симуляциялык моделдөө алардын иштешин жана эффективдүүлүгүн оптималдаштыруунун күчтүү куралы болуп саналат. Күн жылытуу системасын моделдөөнүн натыйжалары төмөндөгүлөрдү аныктоого мүмкүндүк берет: жылуулукка айланган күн энергиясынын пайызын баалоо менен системанын эффективдүүлүгүн; оптималдуу параметрлерди түзүү (күн коллекторлорунун өлчөмдөрү жана конфигурациясы, муздаткычтын көлөмү, башкаруу стратегиялары); экономикалык эффективдүлүктү белгилөө (энергияга болгон баалардын өзгөрүшүнүн ар кандай сценарийлерин эске алуу менен системаны орнотууга жана эксплуатациялоого кеткен чыгымдардын болжолун берүү. Ошондой эле моделдин чыгуу маалыматтары долбоорду иштеп чыгууда жана ишке ашырууда чечимдерди кабыл алуу үчүн пайдаланылышы мүмкүн. Күн жылуулук менен жабдуу системалары. Иштелип чыккан моделдөө модели Кыргызстандын ар кандай климаттык шарттарында системанын эффективдүүлүгүн жогорулатуу үчүн ар кандай климаттык шарттарда (температура жана күн радиациясы) жана системанын ар кандай жеке параметрлеринде жылытуу күн суу системасынын иштешин моделдештирүү мүмкүнчүлүгүн берет.

Негизги сөздөр: моделдөө, күн жылытуу системасы, симуляция, математикалык модель, күн энергиясы, эффективдүүлүк, температура.

Системы солнечного теплоснабжения (СТС) становятся все более важными в контексте поиска устойчивых и экологически чистых решений для удовлетворения энергетических потребностей. Имитационное моделирование систем солнечного теплоснабжения представляет собой мощный инструмент для оптимизации их производительности и эффективности. Результаты имитационного моделирования системы солнечного теплоснабжения позволяют определить: эффективность системы с оценкой процента солнечной энергии, преобразованной в тепло; установить оптимальные параметры (размеры и конфигурация солнечных коллекторов, объем теплоносителя, стратегии управления; установить экономическую эффективность (дать прогноз затрат на установку и эксплуатацию системы, с учетом различных сценариев изменения цен на энергоресурсы. Также выходные данные модели могут быть использованы для принятия решений при проектировании и внедрении солнечных теплоснабжающих систем. Разработанная имитационная модель позволяет моделировать работу

солнечной системы водяного отопления в различных климатических условиях (температура и солнечное излучение) и различные индивидуальные параметры системы для повышения эффективности системы в различных климатических условиях Кыргызстана.

Ключевые слова: моделирование, система солнечного теплоснабжения, имитация, математическая модель, солнечная энергия, эффективность, температура.

Solar thermal systems (STS) are becoming increasingly important in the context of finding sustainable and environmentally friendly solutions to meet energy needs. Simulation modeling of solar thermal systems is a powerful tool for optimizing their performance and efficiency. The results of simulation modeling of a solar heating system make it possible to determine: the efficiency of the system with an assessment of the percentage of solar energy converted into heat; establish optimal parameters (dimensions and configuration of solar collectors, coolant volume, control strategies; establish economic efficiency (give a forecast of the costs of installing and operating the system, taking into account various scenarios for changes in energy prices. Also, the output data of the model can be used for decision-making in the design and implementation of solar heat supply systems. The developed simulation model allows you to simulate the operation of a solar water system heating in different climatic conditions (temperature and solar radiation) and various individual system parameters to improve system efficiency in various climatic conditions of Kyrgyzstan.

Key words: modeling, solar heating system, simulation, mathematical model, solar energy, efficiency, temperature.

Введение. Солнечная энергия является одним из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии для обеспечения теплоснабжения. Системы солнечного теплоснабжения (СТС) становятся все более важными в контексте поиска устойчивых и экологически чистых решений для удовлетворения энергетических потребностей [1-4]. Солнечные теплоснабжающие системы привлекают внимание благодаря ряду преимуществ, это:

- энергоэффективность, солнечная энергия является бесплатным источником, что позволяет снизить зависимость от традиционных, не всегда экологически чистых источников энергии;

- снижение выбросов, использование солнечных теплоснабжающих систем снижает выбросы парниковых газов, что способствует борьбе с изменением климата;

- долговечность, солнечные теплоснабжающие системы имеют долгий срок службы и требуют минимального технического обслуживания.

Имитационное моделирование включает создание математической модели системы, которая воспроизводит ее ключевые характеристики и взаимодействия [5, 6]. Эта виртуальная модель позволяет исследовать различные сценарии, а также анализировать влияние различных факторов на производительность системы. В контексте солнечного теплоснабжения, имитационная модель может включать в себя параметры, такие как географическое положение, климатические условия, характеристики солнечных коллекторов и системы накопления тепла.

Модель также учитывает изменения в энергопотреблении и динамике теплопотребления в течение времени.

Одним из ключевых применений имитационного моделирования является оптимизация производительности солнечных теплоснабжающих систем. Моделирование может помочь определить оптимальные параметры системы, такие как размеры солнечных коллекторов, емкость теплоносителя и стратегии управления системой. Моделирование также может предоставить информацию о прогнозируемой эффективности системы в различных условиях, что позволяет проекти-

ровщикам и инженерам принимать обоснованные решения при выборе технических решений и настройке параметров системы.

Однако прежде, чем интегрировать СТС в реальные системы, необходимо тщательное исследование и оптимизация их производительности. Поэтому имитационное моделирование представляет собой мощный инструмент для изучения сложных систем, таких как солнечные теплоснабжающие системы. Эта техника позволяет создать виртуальную модель системы, учитывая различные параметры и условия, чтобы оценить ее работоспособность и эффективность. В данной статье мы рассмотрим важность и преимущества имитационного моделирования систем солнечного теплоснабжения, а также как оно может быть использовано для оптимизации их функционирования.

Результаты исследования. Моделирование модели выполнено в MatLab + Simulink [5]. Для моделирования выбран г. Ош Кыргызстана с различными погодными условиями, значения температуры и солнечной освещенности. На основе математической модели коллектора (1) в Simulink разработана блок-схема модели коллектора показана на рисунке 1. Результатом моделирования является температура жидкости на выходе из коллектора. Входные параметры для моделирования в коллекторе:

Таблица 1

Параметры модели и номенклатура

Параметры	Величина	Обозначение	Единица измерения
I	0-800	Интенсивность солнечной радиации	W/m ²
A	2	Площадь плоского коллектора	m ²
T _{вх}	15-70	Температура жидкости на входе	°C
T _{вых}	15-35	Температура жидкости на выходе	°C
n	12	Количество коллекторов	
N	3	Количество рядов	
C	3690	Теплоемкость	Дж/(кг К)
v	2.9E-5	Объемный расход в цикле сбора	m ³ /сек

Климат Кыргызстана резко континентальный, и здесь наблюдаются значительные перепады температур [7]. Для климатических условий Кыргызстана, если вода будет использоваться в качестве жидкости в цикле коллектора, то в зимнее время существует риск замерзания воды в цикле, а в летнее время возникает высокое давление из-за нагрева и кипячения воды в цикле коллектора. Поэтому рекомендуется использовать специальную жидкость, состоящую из 50%-ной концентрации пропиленгликоля и дистиллированной воды.

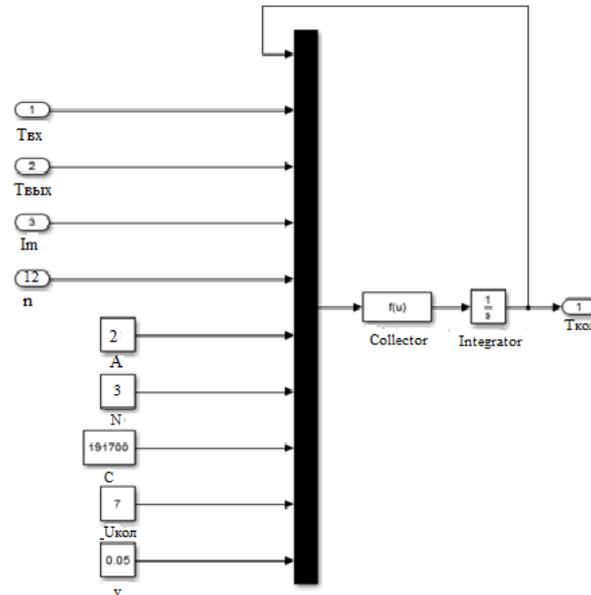


Рис. 1. Блок схема модели коллектора.

Общая блок-схема Simulink солнечной системы водяного отопления показана на рисунке 2. Данные были собраны за один год. Система солнечного водяного отопления была установлена в городе Ош, высота над средним уровнем моря составляла 1088 метров. Исходные данные: солнечное излучение и температура окружающей среды. Результат моделирования показан на рисунке 3. Исходя из рисунка, мы можем отметить, что система солнечного нагрева горячей воды не будет обеспечивать приемлемую температуру в

плоском коллекторе и накопительном баке с декабря по март. Наилучший результат (высокая температура) работы системы будет обеспечен с июня по середину октября. На рисунке 4 показана высокая корреляция между солнечной радиацией и температурами коллектора и резервуара для хранения. Предположим, что плотность солнечной радиации выше. В этом случае температура более однообразна, а стандартное отклонение температуры в хранилище близко к среднему значению, например, с июля по август.

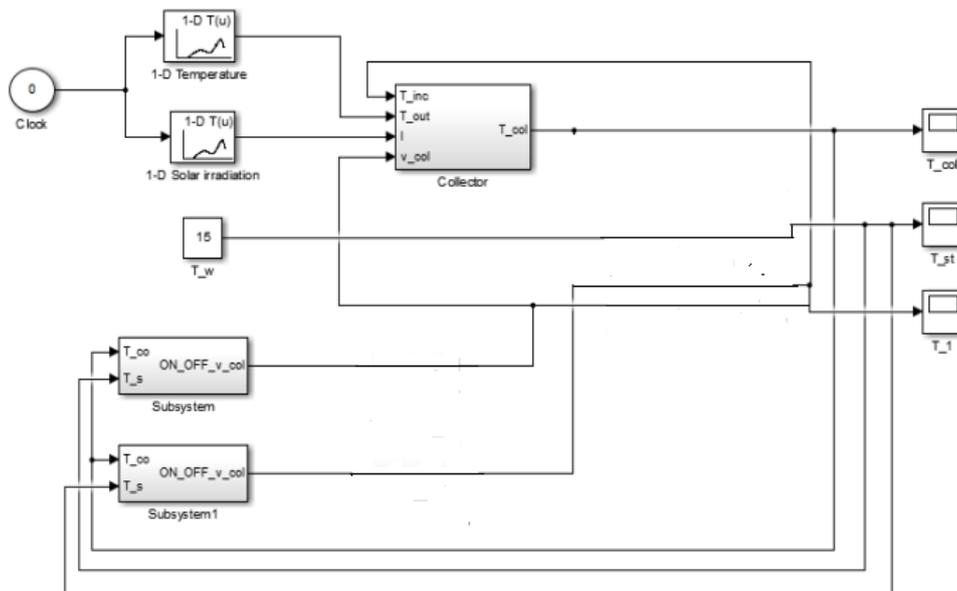


Рис. 2. Блок схема солнечной системы водяного отопления.

Мы увеличили масштаб смоделированных данных до 3 дней (1 июля – 3 июля), чтобы детально проанализировать смоделированные результаты. Результат моделирования показал, что максимальная температура воды в резервуаре-накопителе составляет 56,9 °С в Ошской области, а в коллекторе - 60,5°С, результат представлен на рисунках 4 и 5. Также мы отметили, что температура в собранном материале достигала

высокой температуры. Хранение в ночное время монотонно сокращалось без солнечного облучения. Поэтому в северном регионе Кыргызстана мы рекомендовали изолировать резервуар для хранения или разместить его в здании. Проблема экономии тепла в резервуаре-накопителе все еще остается открытой для севера Казахстана, и мы хотели бы рассмотреть ее в другой статье.

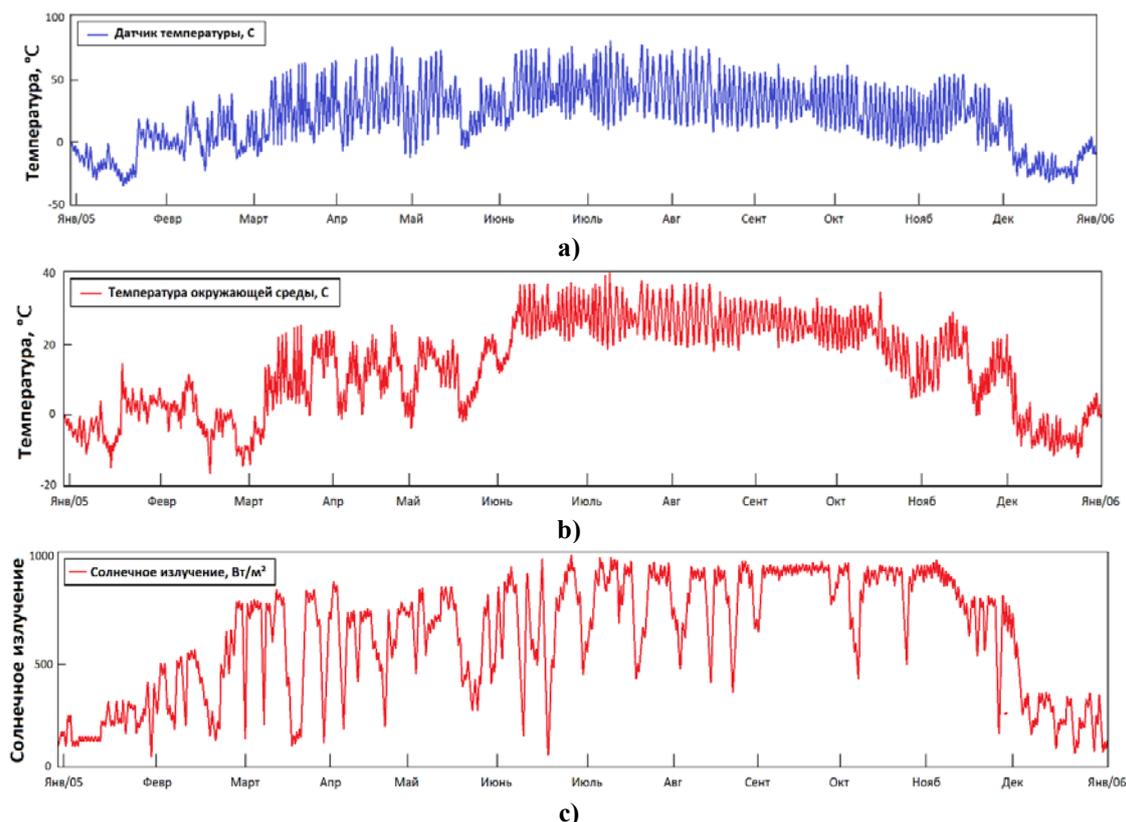


Рис. 3. Результаты имитационной модели.

Перед выполнением моделирования нагрева воды необходимо проанализировать технические характеристики плоского солнечного коллектора, такие как теплопотери коллектора. Этот анализ занимает больше времени, но позволяет моделировать более точные результаты. После получения рассчитанных значений мы можем перейти к энергетическому анализу. Основная цель имитационной модели - определить предельные значения установки и выявить слабые места установки для улучшения.

Разработанная имитационная модель позволяет моделировать работу солнечной системы водяного отопления в различных климатических условиях (температура и солнечное излучение) и различные индивидуальные параметры системы для повышения эффективности системы в различных климатических условиях Кыргызстана. Результат моделирования показал, что в дневное время температура воды в коллек-

торе составляет 70°С, и в этот период ее можно использовать дома. Основная проблема заключается в хранении нагретой воды, поскольку нагретая вода охлаждается ночью.

Еще одна задача, которую мы можем определить на основе анализа моделирования – найти способ продлить период работы системы с высокой эффективностью (апрель-октябрь); это позволит быть-то инженерные, технические решения или программирование контроллеров.

На рисунке 4 показаны температуры коллектора, накопительного бака и насоса в режиме работы. Мы можем видеть корреляцию между температурой окружающей среды и температурой нагревательной воды, когда температура в коллекторе достигает 40°С. Причиной использования охлаждающей жидкости в цикле являются погодные условия (снижение температуры окружающей среды, закат солнца).

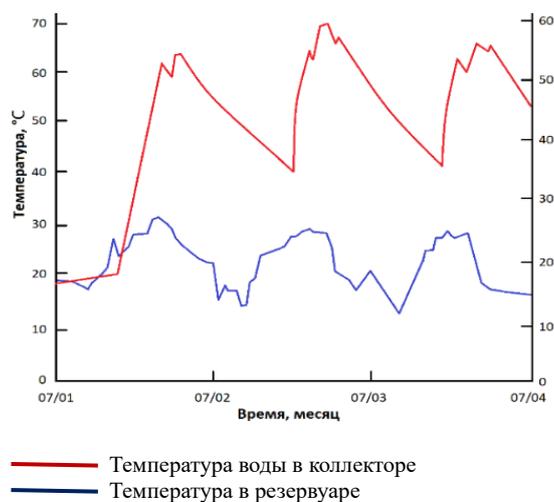


Рис. 4. Зависимость температуры окружающей среды от времени.

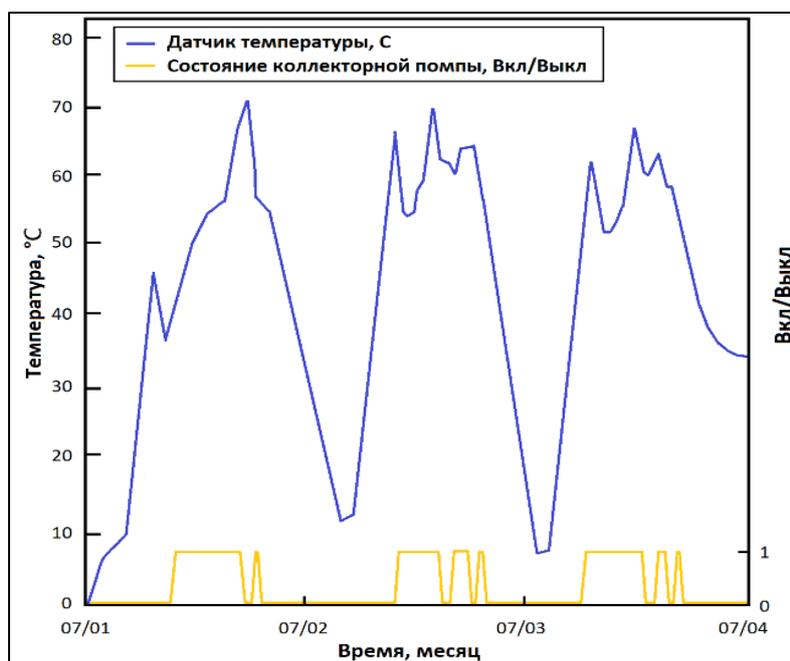


Рис. 5. Зависимость состояния коллекторной помпы от времени.

Результаты имитационного моделирования системы солнечного теплоснабжения позволяют определить: эффективность системы с оценкой процента солнечной энергии, преобразованной в тепло; установить оптимальные параметры (размеры и конфигурация солнечных коллекторов, объем теплоносителя, стратегии управления; - установить экономическую эффективность (дать прогноз затрат на установку и эксплуатацию системы, с учетом различных сценариев изменения цен на энергоресурсы. Также выходные данные модели могут быть использованы для

принятия решений при проектировании и внедрении солнечных теплоснабжающих систем.

Заключение:

1. Имитационное моделирование систем солнечного теплоснабжения представляет собой мощный инструмент для оптимизации их производительности и эффективности.
2. Разработанная имитационная модель позволяет моделировать работу солнечной системы водяного отопления в различных климатических условиях (температура и солнечное излучение) и различные

индивидуальные параметры системы для повышения эффективности системы в различных климатических условиях Кыргызстана.

Литература:

1. Турсунбаев Ж.Ж. Возможности и эффективность использования солнечных нагревателей [Текст] / [Турсунбаев Ж.Ж., Камбаров К.С., Исламов М., Абдыкадыров А.Б.]. – Б.: Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, №7, 2023.
2. Омаров Р.А. Потенциал системы солнечного теплоснабжения с тепловым насосом в трех разных городах Средней Азии [Текст] / [Омаров Р.А., Турсунбаев Ж.Ж., Кунелбаев М.М., Токтоналиев Б.С., Карасартов У.Э.]. – Б.: Наука, Новые технологии и инновации Кыргызстана, №8, 2023.
3. Турсунбаев Ж.Ж. Эффективность суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность Юго-Западного региона Кыргызстана [Текст] / [Турсунбаев Ж.Ж., Смаилов Э.А., Самиева Ж.Т., Хасанов Б.У.]. – Б.: Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, №8, 2023.
4. Смаилов Э.А. Эффективные способы и техника сушки листьев табака с использованием солнечной энергии в Кыргызстане [Текст] / [Э.А. Смаилов, Ж.Ж. Турсунбаев, З.Б. Зулпуев и др.]. – Барнаул: Вестник АГАУ, 2024.
5. Jansa, P., Chungpaibulpatana, S. & Limmeechokchai, B. (2004). A simulation model for predicting the performance of a built-in-storage solar water heater. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 9(4), 47-60 p.
6. Турсунбаев Ж.Ж. Оценка уровня солнечной радиации по высоте территории Кыргызстана [Текст] [Турсунбаев Ж., Смаилов Э.А., Абдыкадыров А.Б., Калчаева З.И.]. – Б.: Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, №7, 2023.
7. Турсунбаев Ж.Ж. Особенности работы солнечных установок с эффектом сифона [Текст] / Ж.Ж. Турсунбаев, А.А. Тагайматова. – Б.: Вестник КНУ им. Ж.Баласагына, №3 (111), 2022. – С. 346-352.
8. Акулинин А., Смыков В. Оценка возможностей солнечной энергетики на основе точных наземных измерений солнечной радиации. – *Проблемы региональной энергетики*, 2008, № 1, 23-30 с.
9. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж. Анализ термодинамических процессов происходящих в энергоустановках // *Известия ВУЗов (Кыргызстан)*. 2011. №6. С. 16-17. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26534681>
10. Турсунбаев Ж.Ж. Определение площади миделя параболического концентратора для солнечной энергетической установки // *Вестник Кыргызстана*. 2022. №2-2. С. 148-156. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50397455>