

## Выводы

1. Обоснованы эксплуатационные допуски на скорость рабочего хода почвообрабатывающих агрегатов для основных групп родственных операций и установлены рациональные тягово-скоростные режимы использования разных моделей тракторов серии К-744Р на операционных технологиях основной обработки почвы.

2. На основании сравнительной оценки показателей эффективности использования тракторов разных типоразмеров на обработке почвы обоснованы приоритетные группы операционных технологий их применения.

3. По результатам производственных испытаний и моделирования эксплуатационных параметров почвообрабатывающих агрегатов определены условия рационального агрегатирования разных моделей тракторов серии К-744Р с основными типами рабочих машин в АПК Красноярского края.

## Литература

1. Селиванов Н.И. Технологические основы адаптации тракторов. – Красноярск, 2012. – 259 с.
2. Агеев Л.Е., Бахриев С.Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 271 с.



УДК 628.81

*R.J. Низамутдинов, О.С. Пташкина-Гирина, А.Х. Доскенов*

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

*По результатам прямого натурного эксперимента и теоретических исследований создана имитационная модель теплонасосной установки в системе отопления, позволяющая воспроизвести функционирование системы во времени при различных сочетаниях условий внешней среды и значений параметров установки.*

**Ключевые слова:** насос тепловой, низкопотенциальная тепловая энергия, прямой натурный эксперимент, имитационное моделирование.

*R.Zh. Nizamutdinov, O.S. Ptashkina-Girina, A.Kh. Doskenov*

### SIMULATION MODEL OF HEAT PUMP EQUIPMENT OPERATION IN HEATING SYSTEM IN THE CHELYABINSK REGION CONDITIONS

*According to the results of direct field experiment and theoretical studies the simulation model of heat pump equipment in the heating system is developed. It allows to reproduce the system functioning in time under various combinations of environmental conditions and equipment parameters values.*

**Key words:** heat pump, low-potential heat energy, direct field experiment, simulation modeling.

---

Одно из основных энергосберегающих мероприятий в системе отопления и горячего водоснабжения не только в мире, но и в России стало внедрение теплонасосных установок, использующих низкопотенциальную энергию грунтов, грунтовых вод и т.п. Использование практически неиссякаемой низкопотенциальной энергии в объектах теплоснабжения обеспечивает экономию топливно-энергетические ресурсы.

Челябинская область относится к Уральской зоне аномально низкого ( $<30 \text{ мВт}/\text{м}^2$ ) теплового потока, т.е. не обладает запасами глубинных термальных вод в отличие от соседних регионов (Башкирия, Тюменская область) [1]. Территория горного Урала, являющаяся областью формирования поверхностного и подземного стоков, характеризуется развитием исключительно холодных подземных вод. Температура их до глубины 300–400 м обычно составляет 5–7°C и даже на глубинах до 1000 м не поднимается выше 9°C. В целом по Зауралью зона холодных вод распространена до глубины 450–500 м. Зона слаботермальных вод распространяется до глубин 1100–1200 м с температурами не выше 50°C [2].

Для определения возможности использования низкопотенциальной тепловой энергии грунта и подземного стока, оценки выбора элементов теплонасосной установки в климатических и геологических условиях Челябинской области был осуществлен прямой натурный эксперимент на базе ООО КЭП «Лаборатория вариаторов», но прямой эксперимент не позволяет изменить многие параметры установки без дополнительных материальных и временных затрат. Поэтому на основе результатов прямого эксперимента и теоретических исследований была создана имитационная модель теплонасосной установки, позволяющая воспроизводить алгоритм («логику») функционирования исследуемой системы во времени при различных сочетаниях значений параметров системы и внешней среды.

Для создания имитационной модели была использована программа Simulink, являющаяся приложением к пакету MATLAB [3]. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно общих знаний, требующихся при работе на компьютере и, естественно, знаний той предметной области, в которой он работает.

Соответственно, технология компьютерного моделирования предполагает выполнение следующих действий [4]:

- определение цели моделирования;
- разработка концептуальной модели;
- формализация модели;
- программная реализация модели;
- реализация плана эксперимента;
- анализ и интерпретация результатов моделирования.

Цель имитационного моделирования теплонасосной установки – это создание модели работы теплового насоса совместно со всеми процессами, касающимися преобразования первичной низкопотенциальной энергии в энергию полезную потребителю.

Для этого была создана концептуальная модель теплового насоса, состоящая из блоков. Каждому блоку соответствует какой-либо из элементов теплонасосной установки (рис.1). Элементы описываются математическими формулами или зависимостями в соответствии с процессами, проходящими в том или ином блоке.

Блок №1 задает изменение температуры окружающей среды, внутреннюю температуру помещения, теплопроводность ограждающих конструкций с учетом их материалов.

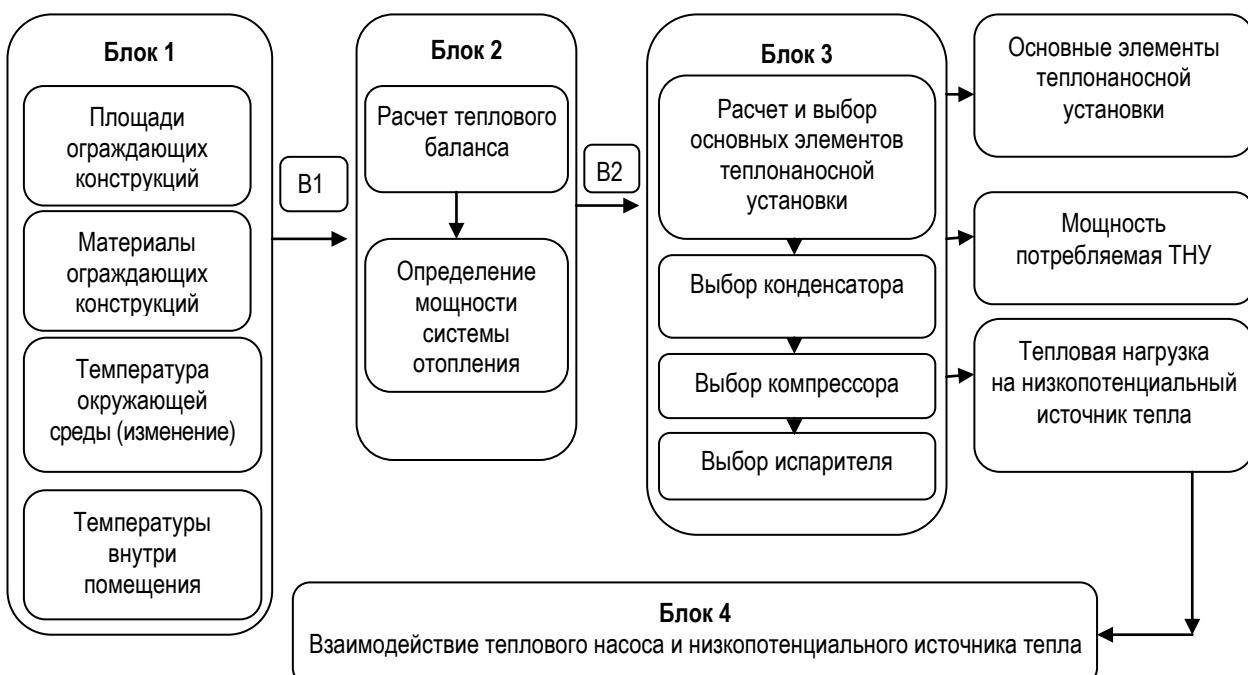


Рис. 1. Блок схема имитационной модели теплового насоса для условий Челябинской области

Блок №2 производит расчет теплового баланса помещения и определяет необходимую мощность системы отопления.

Блок №3 производит расчет и выбор основных элементов теплонасосной установки.

Результатом блока №3 также является выбор наиболее важных параметров системы отопления: мощности, потребляемой тепловым насосом, и хладопроизводительности теплонасосной установки.

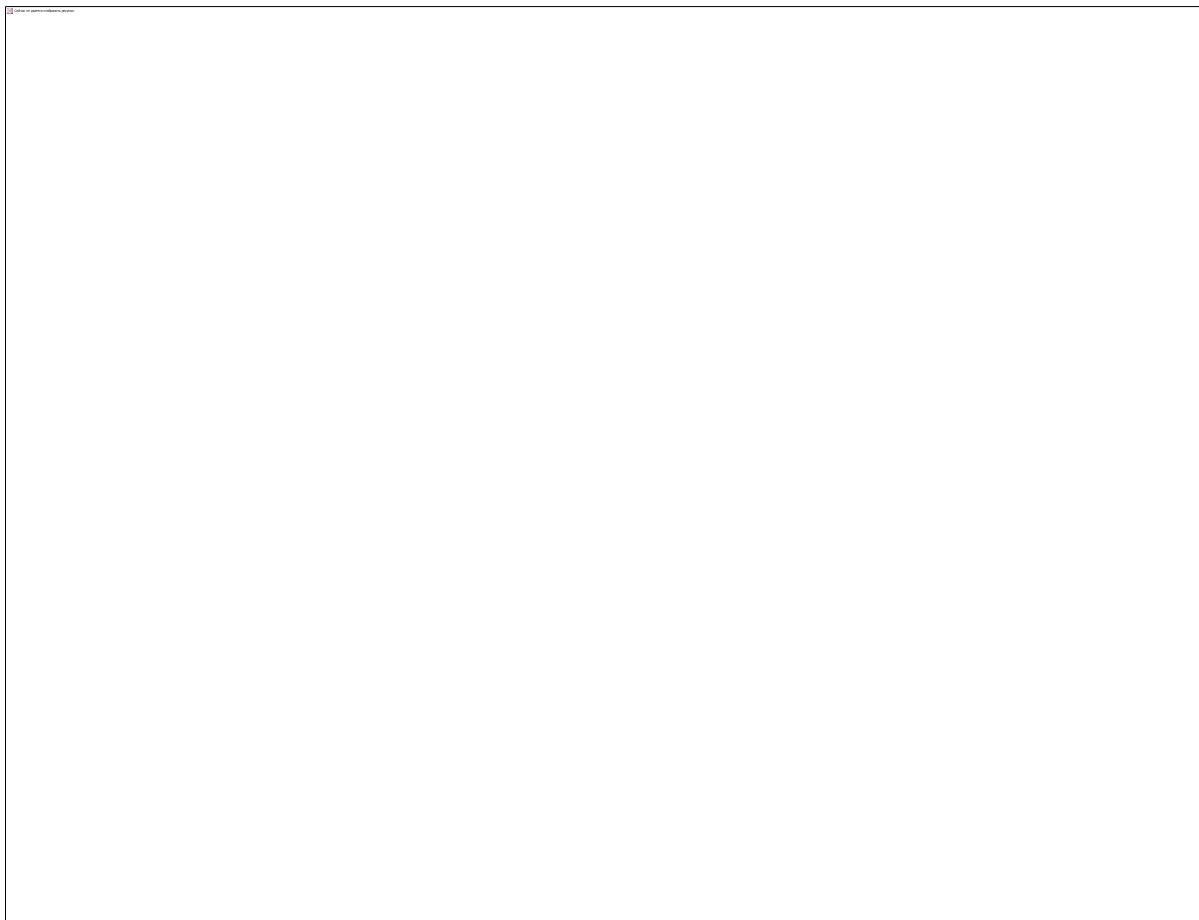
Блок № 4 позволяет смоделировать в динамике совместную работу теплового насоса и источника низкопотенциальной энергии в зависимости от значений температуры наружного воздуха.

Результатом блока №4 является выбор необходимых параметров установки для добычи низкопотенциальной энергии: длины скважины, площади погружного теплообменника. Работа блока № 4 стала возможной только после проведенных теоретических исследований и натурного эксперимента.

Следующим элементом модели теплового насоса являются взаимосвязи (B1, B2), они при помощи математических формул описывают влияние блоков друг на друга.

Чем больше блоков описывает модель и чем точнее подобранно математическое описание взаимосвязей блоков, тем меньше погрешность конечных результатов. Адекватность модели проверяется на любом этапе моделирования.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц (рис. 2).



*Рис. 2. Результат имитационного моделирования теплонасосной установки*

При выборе теплового насоса в системе отопления в первую очередь рассматривались установки Viessmann и Stiebel Eltro, на поставках которых специализируются большинство фирм России. Эти тепловые насосы используют схему с промежуточным теплоносителем совместно со скважиной, что приводит к дополнительным затратам энергии для перекачки промежуточного теплоносителя. Авторами предложена схема,

использующая принцип прямого кипения, т.е. теплообменником-испарителем является непосредственно теплообменник-труба, погруженный в скважину [5].

Имитационное моделирование позволило в значительной мере сократить время, затрачиваемое на расчеты, и повысило точность инженерно-технических изысканий при проектировании систем отопления с использованием теплонасосных установок для условий Челябинской области.

### **Литература**

1. Голованова И.В. Тепловое поле Южного Урала / Ин-т геологии УфимНЦРАН. – М.: Наука, 2005. – 189 с.
2. Гидрогеология СССР. Т. XIV. Урал. Уральское территориальное геологическое управление / под ред. В.Ф. Прейс. – М.: Недра, 1972. – 648 с.
3. URL: <http://www.mathworks.com>.
4. Хахулин Г.Ф. Основы конструирования имитационных моделей: учеб. пособие. – М.: НТК Поток, 2002. – 222 с.
5. Пат. на полезную модель №14137. Трубка теплообменника: заявка 2011131986/06. Российская Федерация / Пташкина-Гирина О.С., Низамутдинов Р.Ж.; заявл. 15.11.11; Опубл. 10.03.2012.

