

# ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЖКХ

УДК 621.651

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

*Н. Ю. Сапрыкина*

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*

Изменение температурного фона, формируемого в условиях многолетней эксплуатации скважин, не компенсируется фоновыми тепловыми потоками, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях всей системы. Необходимость совершенствования методик долговременного прогноза параметров работы низкопотенциальных геотермальных скважин в нестационарном циклическом режиме систем отопления и кондиционирования обуславливают актуальность исследования в этом направлении.

**Ключевые слова:** температурное поле, температура грунта, тепловой насос, геотермальная скважина.

## DEVELOPMENT OF THE DESIGN METHOD HEATING AND AIR CONDITIONING SYSTEMS BASED ON LOW-POTENTIAL GEOTHERMAL ENERGY ACCORDING TO THE LONG-TERM OPERATION OF EQUIPMENT

*N. Yu. Saprykina*

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering*

The change in the temperature background formed in the conditions of long-term operation of the wells is not compensated by background heat fluxes, which adversely affects the technical and economic performance of the entire system. The need to improve the methods for long-term forecasting of the parameters of the operation of low-potential geothermal wells in the non-stationary cyclic mode of heating and air conditioning systems causes the urgency of research in this direction.

**Keywords:** temperature field, soil temperature, heat pump, geothermal well.

В статье рассматривается предложенная методика проектирования системы отопления и кондиционирования, использующей низкопотенциальную геотермальную энергию, с учетом долговременной эксплуатации и представлен анализ технико-экономических параметров (ТЭП) основных конструкторско-технологических решений.

Для подбора теплонасосной установки и расчета параметров геотермальной скважины (скважин) необходимо рассчитать тепловой баланс объекта, определить температурные режимы, выбрать оборудование. Уравнение теплового баланса выглядит следующим образом:

$$Q_o = Q_{огр} + Q_{инф} + Q_{доб} + Q_{ох} - \sum Q_{тв} \quad (1)$$

где  $Q_{огр}$  – потери тепла из-за теплопередачи через наружные ограждения, Вт;  $Q_{инф}$  – потери инфильтрацией из-за поступления холодного воздуха в помещения через неплотности наружных ограждений, Вт;  $Q_{доб}$  – добавочные потери, Вт;  $Q_{ох}$  – теплота на подогрев холод-

ных предметов, Вт;  $\sum Q_{тв}$  – внутренние тепловыделения, Вт.

Для определения расчетных нагрузок на здание можно воспользоваться формулой укрупненных показателей:

$$Q = \alpha \cdot V_{зд} \cdot g \cdot (t_B - t_H) \quad (2)$$

где  $\alpha$  – поправочный коэффициент, учитывающий отличие расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления;  $V$  – объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;  $q_o$  – удельная отопительная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup> · °С).

В зависимости от выбора технологического режима работы теплового насоса строится график коэффициента регенерации, из которого выбирается тепловая нагрузка и ее изменение в течении года [1]. В качестве примера рассмотрим график активных нагрузок для г. Астрахани (рис. 1). Для расчета коэффициента регенерации тепла производится замена нагрузки эквивалентными дискретными циклами включения теплонасосной установки (усреднение).

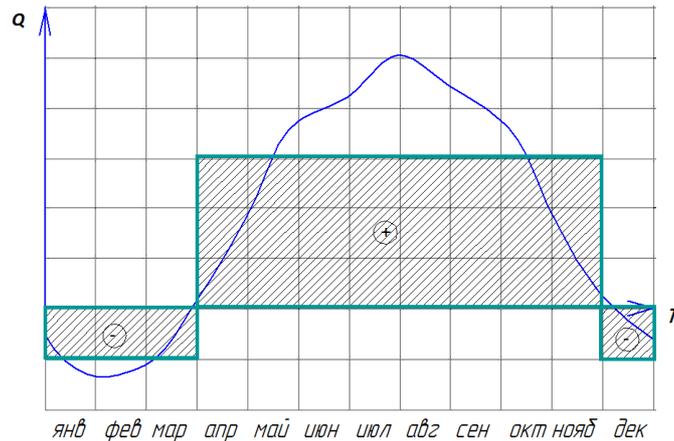


Рис. 1. Усредненная годовая активная нагрузка для г. Астрахани

В соответствии с полученными средними активными нагрузками рассчитывается коэффициент регенерации по формуле

$$k_p = Q_{\text{подв.}} / Q_{\text{отв.}} \quad (3)$$

где  $Q_{\text{подв.}}$  – количество подведенного потока в холодный период года, Дж;  $Q_{\text{отв.}}$  – количество отведенного потока в теплый период года, Дж.

Используя параметры режимов работы оборудования, параметры геотермальной скважины и пласта, определяем критерии подобия [2–4].

С помощью уравнения [2–4] (в зависимости от режима работы геотермальной скважины) находится температура забоя скважины при ее

длительной эксплуатации с выходом на квазистационарный режим работы, являющаяся исходным параметром для определения коэффициента трансформации тепла.

На основании активной нагрузки подбираются объемно-конструктивные решения: диаметр скважины, количество скважин, значения нагрузки. Для более точного прогнозирования изменения температурного поля с течением времени воспользуемся полученными критериальными уравнениями [2–5]. В качестве примера рассмотрим расчет критериальных уравнений со следующими исходными данными (табл. 1). Теплофизические свойства грунта приняты для сухого песка.

Таблица 1

Исходные данные

$q_{\text{земл.}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$Q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$r_0$ , м	$\lambda$ , Вт/м·°C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$c$ , Дж/(кг·°C)	$k_p$	$\tau$ , с	$v$ , м/с
0,05	100	0,1	0,33	1500	800	0,75	94 608 000	0,000000003

Рассчитываем критериальное уравнение [2–5] для трех лет эксплуатации:

- без учета регенерации:

$$\theta = -5 \cdot 10^{-9} \cdot 2000 \cdot 650^2 + 2 \cdot 10^{-8} \cdot 650 \cdot 2000 + 0,0003 \cdot 2000 + 5,1 = -1,81$$

Переводим полученную относительную величину в реальную температуру согласно [2–5]. Расчеты ведутся по модулю. Значение  $t_{\text{грунт}}^{\text{остаточное}} = 46,1$  °C. (значения температур для октября);

- с учетом коэффициента регенерации:

$$\theta = -5 \cdot 10^{-9} \cdot 2000 \cdot 650^2 + 2 \cdot 10^{-8} \cdot 650 \cdot 2000 + 0,0003 \cdot 2000 + 5,1 \cdot (0,0002 \cdot 0,75 + 1,98) = 3,18$$

Осуществляется перевод в реальную температуру согласно [2–5]. Расчеты ведутся по модулю. Значение  $t_{\text{грунт}}^{\text{остаточное}} = 15,48$  °C. (значения температур для октября);

- с учетом фильтрационных потоков:

$$\theta = (-5 \cdot 10^{-9} \cdot 2000 \cdot 650^2 + 2 \cdot 10^{-8} \cdot 650 \cdot 2000 + 0,0003 \cdot 2000 + 5,1 \cdot (0,0002 \cdot 0,75 + 1,98)) \cdot (-0,165 \cdot 47,3 + 1) = -15,5$$

Значение  $t_{\text{грунт}}^{\text{остаточное}} = 36,12$  °C (значения температур для октября).

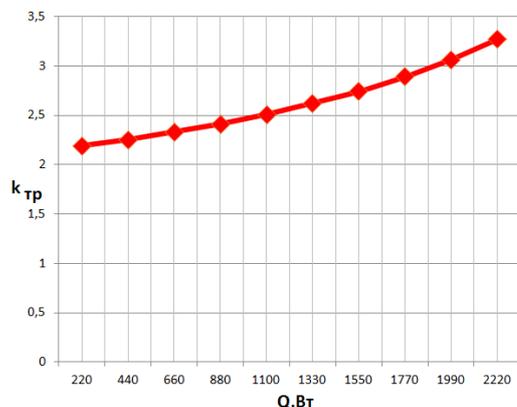
На основании технико-экономического анализа принятых конструкторско-технологических решений выявлено, что важным аспектом инвестиционных вложений в проектные работы является стоимость оборудования, его транспортировка, монтаж, а также оценка экономических затрат на инженерно-исследовательские исследования и бурение скважины. Стоит отметить, что количество скважин определяется расчетным путем, а стоимость рассчитывается специализированными организациями.

После выполнения указанных выше расчетов подбирается оборудование. На сегодняшний день торговый ряд теплонасосной продукции очень разнообразен, вследствие чего ценовая

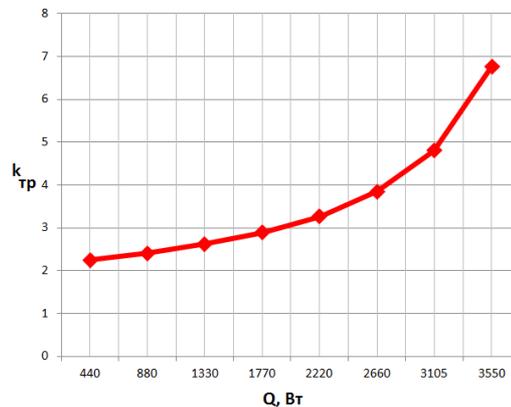
политика тоже разная. Определившись с выбором оборудования и количеством скважин, необходимо выявить зависимость коэффициента трансформации (или холодильного коэффициента) от температурного напора. Например, для покрытия тепловой нагрузки административного здания в 160 м<sup>2</sup> необходимо оборудование в 14 кВт, количество скважин – три по 100 м. Стоимость оборудования составляет

632 033 руб., шеф-монтаж 15 000 руб., скважины 300 000 руб. (цены на сентябрь 2015 г.).

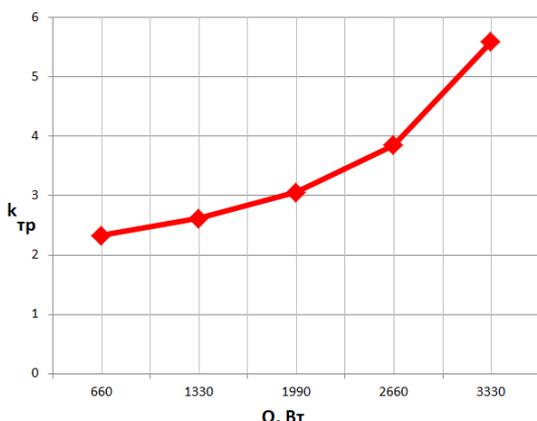
Необходимо провести технико-экономическое обоснование и качественную оценку проектирования. На рис. 2 изображены графики зависимости потребляемой электроэнергии ( $Q$ ) от коэффициента трансформации ( $k_{тр}$ ) для количества скважин от 1 до 5 (общая площадь одной скважины – 47,1 м<sup>2</sup>).



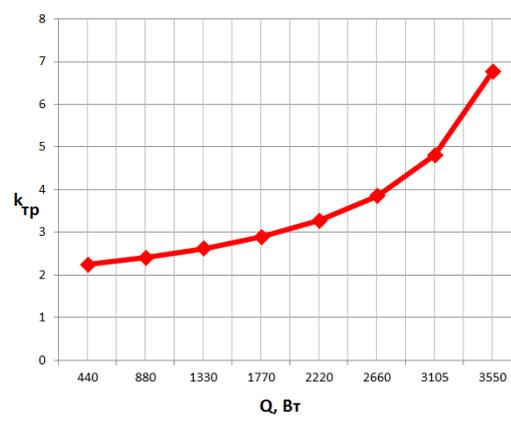
а)



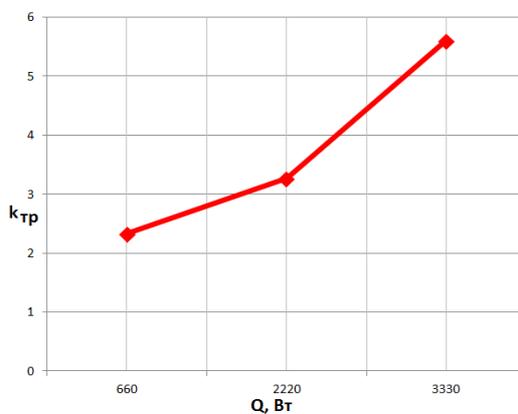
б)



в)



г)



д)

Рис. 2. Графики рекомендуемой зависимости количества скважин от потребляемой энергии теплового насоса, обеспечивающие работу ТНУ с коэффициентом трансформации тепла не менее 2: а) для одной; б) для двух; в) для трех; г) для четырех; д) для пяти

Проектировщик стоит перед выбором приоритета между эксплуатационными затратами и стоимостью. Капитальные затраты растут, а эксплуатационные начинают падать. Необходима оптимизация затрат. Для наглядности на рис. 3 представлен график зависимости эксплуатационных затрат ( $Z$ ) и стоимости ( $S$ ), которая зависит от количества скважин.

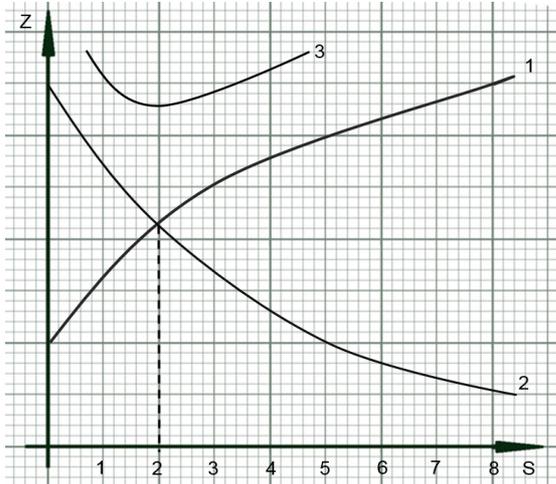


Рис. 3. Кривая зависимости эксплуатационных затрат от стоимости: 1 – капитальные затраты; 2 – эксплуатационные затраты; 3 – минимизация затрат

Технико-экономический анализ позволяет эффективно провести расчет необходимого теплонасосного оборудования из условия минимизации суммы капитальных и эксплуатационных затрат с возможной корректировкой принятых конструкторско-технологических решений.

В результате проведенного технико-экономического обоснования, принятых в исследовательской работе решений и полученных критериальных уравнений предложена методика проектирования – прогнозирование естественного изменения температурного поля грунта в условиях длительной эксплуатации теплонасосного оборудования по трем направлениям: в одном технологическом режиме (без изменения направления теплового потока), в двух технологических режимах (с изменением направления теплового потока – с регенерацией, то есть с подводом и отводом теплоты), с влиянием фильтрационного потока. Кроме того, получены решения этих модифицированных уравнений. Методика расчета позволяет на стадии проектирования выявить энергоэффективное исполнение расчета и осуществить прогнозирование длительной эксплуатации ТНУ с течением времени. Постановку задачи проектирования можно отобразить в виде блок-схемы (рис. 4).

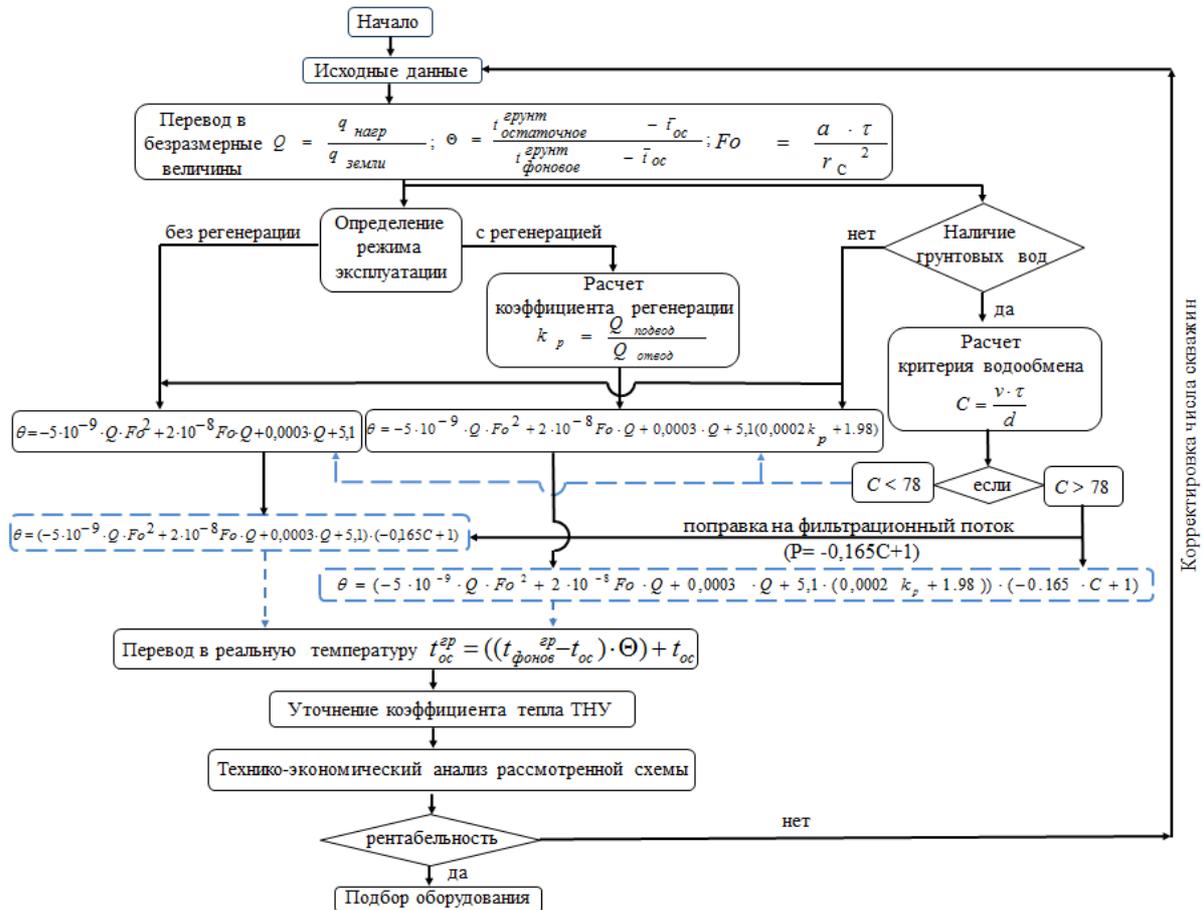


Рис. 4. Блок-схема технико-экономического анализа оптимизации компоновочных решений системы отопления и кондиционирования с использованием низкопотенциальной геотермальной энергии

Технико-экономический анализ позволяет эффективно провести расчет необходимого теплонасосного оборудования из условия минимизации суммы капитальных и эксплуатационных затрат с возможной корректировкой принятых

конструкторско-технологических решений. Методика позволяет на стадии проектирования выявить энергоэффективное исполнение расчета и осуществить прогнозирование длительной эксплуатации геотермальной скважины.

#### Список литературы

1. Сапрыкина Н. Ю., Яковлев П. В. Энергосберегающие технологии портовых сооружений на основе применения геотермальных тепловых насосов // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. Астрахань, 2017. № 1. С. 116–124.
2. Сапрыкина Н. Ю., Яковлев П. В. Исследование формирования температурного поля грунта при эксплуатации геотермальных тепловых насосов в условиях влияния грунтовых вод // Вестник ВГТУ. Воронеж, 2017. № 2 (46). С. 27–37.
3. Сапрыкина Н. Ю., Яковлев П. В. Исследование естественного изменения температурного поля при многолетней эксплуатации теплого насоса // Вестник ТГТУ. Томск, 2016. № 4 (57). С. 117–125.
4. Сапрыкина Н. Ю. Исследование формирования температурного поля грунта при эксплуатации геотермальных тепловых насосов при условии влияния грунтовых вод // Вестник СГАСУ. Самара, 2016. № 3 (24). С. 25–30.
5. Сапрыкина Н. Ю., Яковлев П. В. Влияние фильтрационного потока грунтовых вод на температурное поле грунта при многолетней эксплуатации низкопотенциальных геотермальных скважин // Перспективы развития строительного комплекса. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2017. С. 55–60.

© Н. Ю. Сапрыкина

#### Ссылка для цитирования:

Сапрыкина Н. Ю. Разработка методики проектирования системы отопления и кондиционирования на основе низкопотенциальной геотермальной энергии с учетом долговременной эксплуатации оборудования // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2017. № 4 (22). С. 24–28.

УДК 620.92

## РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСТИ В РОССИИ

А. А. Елизаров

Астраханский государственный технический университет

В статье рассматриваются аспекты применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) вместо невозобновляемых. На основе мировой практики и анализа работ российских и зарубежных исследовательских учреждений в области электроэнергетики утверждается, что существует необходимость постепенного ухода от таких источников энергии, как нефть, уголь, газ, ядерная энергия, ввиду их ограниченных запасов и сильного влияния на экологию Земли. Также приводится наглядный пример динамики потребления электроэнергии в России за период 2000–2015 гг., что дает нам конкретное представление об отношении потребления электроэнергии на душу населения к ее производству. Хотя и идет процесс увеличения производства электроэнергии, скорость потребления значительно выше, и в будущем, если динамика не изменит свой вектор, настанет момент дефицита электроэнергии и, как следствие, ее удорожания. Отечественные потребители выдвигают новые требования к надежности и качеству поставок энергии, развитие городов и волатильность цен усугубляют положение дел. Чтобы избежать подобных ситуаций и исключить повышение цены, в качестве одним из основных решений рассматриваемой проблемы выступает перевод ее на инновационные рельсы: использование энергии солнца, ветра, биотоплива, геотермальной энергии, энергии приливов. Описаны перспективы их применения, а также результаты использования в развитых странах и некоторых субъектах Российской Федерации. В будущем практическая значимость результатов исследования определится необходимостью различных направлений развития энергетической отрасли и на этой основе обеспечения рациональной процедуры распределения ресурсов, выделяемых на развитие энергетики.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, экология, энергетика, перспектива, развитие, инновационные рельсы.

## DEVELOPMENT OF THE RENEWABLE ENERGY INDUSTRY IN RUSSIA

A. A. Elizarov

Astrakhan State Technical University

The article deals with the aspects of the use of renewable energy sources (RES) instead of non-renewable ones. Based on the world practice and analysis of the work of Russian and foreign research institutions in the field of electricity, it is argued that there is a need for a gradual departure from energy sources such as oil, coal, gas, nuclear energy, due to their limited reserves and strong influence on the ecology of the earth. Also given is a clear example of the dynamics of electricity consumption in Russia for the period 2000–2015, which gives us a concrete idea of the ratio of electricity consumption per capita to its production. Although the process of increasing the production of electricity is going on, the rate of consumption is much higher in the future, if the dynamics does not change its vector, then there will be a moment of electricity shortage and, consequently, its rise in price. Consumers make new demands on the quality and continuity of energy supplies, urban development and price volatility exacerbate the state of affairs. To avoid such situations in the future and exclude price increases, one of the main directions of solving this problem is to transfer it to innovative rails: use of solar, wind, biofuel, geothermal, tidal energy. Perspectives of application, as well as results of use in developed countries and some subjects of the Russian Federation are described. In the future, the practical importance of the results of the study will be determined by the focus of the various directions of the development of the energy industry and, on this basis, ensuring a rational procedure for allocating resources allocated for the development of energy.

**Keywords:** renewable energy sources (RES), ecology, energy, perspective, development, innovative rails.