

УДК 69:691.4

## ИННОВАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© 2010 А.С. Солдатенков, Е.А. Потапенко, А.О. Яковлев

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

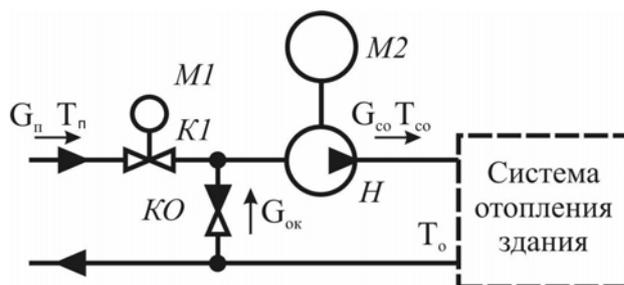
Поступила в редакцию 21.11.2010

Рассмотрены особенности автоматизированного управления процессом централизованного теплоснабжения распределенного комплекса зданий, а также на основе имитационного моделирования и экспериментальных данных показаны варианты возможного частичного перераспределения теплоносителя между объектами комплекса зданий при децентрализованном теплоснабжении, приводящие в целом к снижению экономической эффективности автоматизированного управления.

Ключевые слова: *энергосбережение, теплоснабжение, имитационное моделирование, автоматизированная система*

Одно из направлений энергосбережения в системах теплоснабжения связано с созданием современных автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ) распределенными энергосистемами зданий, позволяющих повысить эффективность управления и снижение расходов на тепловую энергию. В таких АСДУ для стабилизации температуры в помещениях необходимо регулировать температуру теплоносителя в системе отопления каждого здания путем изменения расхода теплоносителя из теплосетей с учетом температуры наружного воздуха. При этом локальные системы автоматического регулирования (САР) нижнего уровня АСДУ также должны обеспечивать поддержание температуры в обратных трубопроводах на выходе из автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) зданий на уровне ниже, чем температура теплоносителя в обратном трубопроводе на основном вводе тепловых сетей для организации или учреждения. Созданная структура АСДУ распределенными энергосистемами зданий БГТУ им. В.Г. Шухова представлена в [1], и включает основные инновационные решения по теплоснабжению.

Для представления особенностей протекающих процессов рассмотрим автоматизированный ИТП, включающий открытые системы теплоснабжения с зависимым подключением отопления к теплосетям. Часть системы теплоснабжения, показанная на рис. 1, содержит: переключку с обратным клапаном КО, связывающую подающий и обратный трубопроводы, М1 и К1 – исполнительный механизм с клапаном; М2 и Н – электропривод с циркуляционным насосом;  $G_n$ ,  $T_n$ ,  $G_{co}$ ,  $T_{co}$ ,  $G_{ok}$ ,  $T_o$  – расходы и температуры теплоносителя соответственно в подающем трубопроводе, в СО здания, в обратном трубопроводе на участке смешивания.



**Рис. 1.** Схема системы отопления с зависимым теплоснабжением

Процесс изменения температуры на вводе тепловых сетей в вуз при постоянном расходе теплоносителя представлен на рис. 2. Рассмотрим конечный объект внутренних теплосетей вуза – автоматизированный ИТП механического корпуса и особенности исследуемых переходных процессов с учетом изменения входной величины (рис. 2). До появления воз-

*Солдатенков Алексей Сергеевич, старший преподаватель кафедры электротехники и автоматики. E-mail: aser@pisem.net*

*Потапенко Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, профессор кафедры организации и безопасности движения. E-mail: potapenko@intbel.ru*

*Яковлев Алексей Олегович, старший преподаватель кафедры электроэнергетики. E-mail: aolalexey@gmail.com*

мушения на вводе тепловых сетей вуза в подающем трубопроводе СО корпуса стабилизировалась температура в соответствии с заданной ( $T_{\xi}$ ), затем с падением температуры на вводе в ИТП до уровня ниже чем  $T_{\xi}$ , в системе автоматизации по команде локального контроллера регулирующий клапан  $KI$  был открыт на максимум (рис. 3б) для компенсации, возникшего отклонения (рис. 3а).

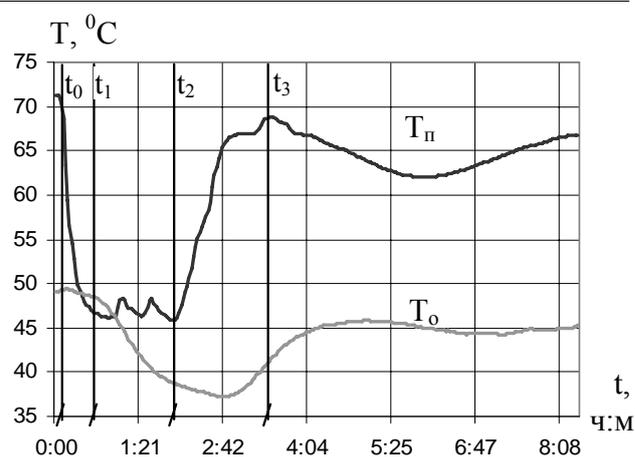


Рис. 2. Изменение температуры на вводе тепловых сетей в вуз

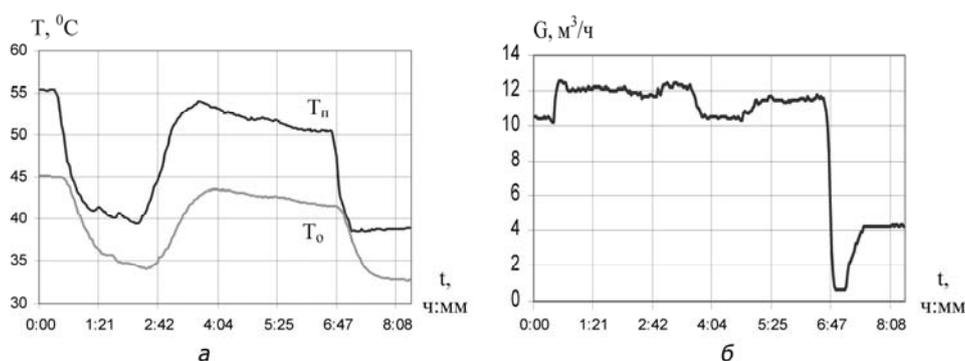


Рис. 3. Изменение температуры (а) и расхода (б) в СО корпуса

Однако даже при максимальном расходе теплоносителя порядка  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$  в СО корпуса температура продолжала падать (рис. 3а), так как при этом уменьшалась температура на вводе тепловых сетей (рис. 2) и соответственно на вводе в ИТП, а в общем характер изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе соответствовал  $T_{\text{п}}$  при температурах ниже стабилизируемой. Затем после увеличения температуры  $T_{\text{со}}$  и достижения ею некоторой величины более чем  $T_{\xi}$  в системе автоматизации по команде локального контроллера шток регулирующего клапана  $KI$  перемещался таким образом, чтобы уменьшить расход на вводе в ИТП до некоторого уровня с целью компенсации возникшего отклонения. Следовательно, процесс регулирования температуры в СО корпуса определяется не только воздействием внешней окружающей среды, но и существенно зависит от изменения температуры на вводе тепловых сетей в вуз. Кроме того, в некоторый момент времени (см. рис. 3 – 6 ч 47 м вечера) наблюдается уменьшение расхода и температуры  $T_{\text{со}}$  теплоносителя на вводе ИТП в СО корпуса, что связано с переходом системы на режим работы с целью экономии тепловой энергии в вечерние и ночные часы.

Анализ экономической эффективности показал, что экономия тепловой энергии по комплексу БГТУ им. В.Г. Шухова в абсолютном выражении составила около 4053 Гкал в год, причем коммунальные расходы за тепло были снижены в целом по вузу на 22 % с учетом фактического потребления [1]. В настоящее время объекты БГТУ им. В.Г. Шухова получают тепловую энергию от собственных модульных котельных типа ТКУ, необходимость строительства которых была обусловлена высокими потерями тепловой энергии (5% в магистральных тепловых сетях, протяженностью 11 км; 11,9% – в распределительных, протяженностью 5,12 км) и ее высокой покупной стоимостью. В этой связи актуальными являются инновационные решения для АСДУ комплекса зданий с автономными источниками тепла (АИТ) [2] на базе комбинированного подключения СО и ГВС, основанного на подключениях части этих систем с относительно малой тепловой нагрузкой к части СО и ГВС с относительно большой тепловой нагрузкой, подключенных к АИТ с учётом их автоматизации и возможностью интегрирования в АСДУ (см. рис. 4).

АИТ содержит: теплогенераторы (ТГ<sub>і</sub>), питательные насосы (НП<sub>і</sub>), электроприводы (М<sub>і</sub>), регуляторы температуры прямого действия (РТ<sub>і</sub>) с клапанами (К1, К2) и датчики температуры (ДТ<sub>і</sub>), расширительный бак (РС1), подпиточный трубопровод ТГ<sub>і</sub> с регулятором давления прямого действия (РД1) с регулирующим клапаном (К3) и датчиком давления (ДД1), подпиточным насосом (НПП1) с электроприводом (М3) и с системой водоподготовки (ХВП), а также клапаны обратные (КО<sub>і</sub>) и шаровые краны (КЗ<sub>і</sub>).

Автоматизированные ИТП зданий содержат следующие элементы:

1. Системы ГВС зданий на базе теплообменников (ТО<sub>і</sub>), включающие регуляторы температуры прямого действия (РТ<sub>і.1</sub>) с трехходовыми клапанами (К<sub>і.1</sub>) и датчиками температуры (ДТ<sub>і.1</sub>), циркуляционные насосы ГВС (Н<sub>і.1</sub>) с электроприводами (М<sub>і.1</sub>), подпиточные трубопроводы с насосами ГВС (НПП<sub>і.1</sub>) с электроприводами (М<sub>і.2</sub>) и системой ХВП, а также клапаны обратные (КО<sub>і.1</sub>) и шаровые краны (КЗ<sub>і.1</sub>).

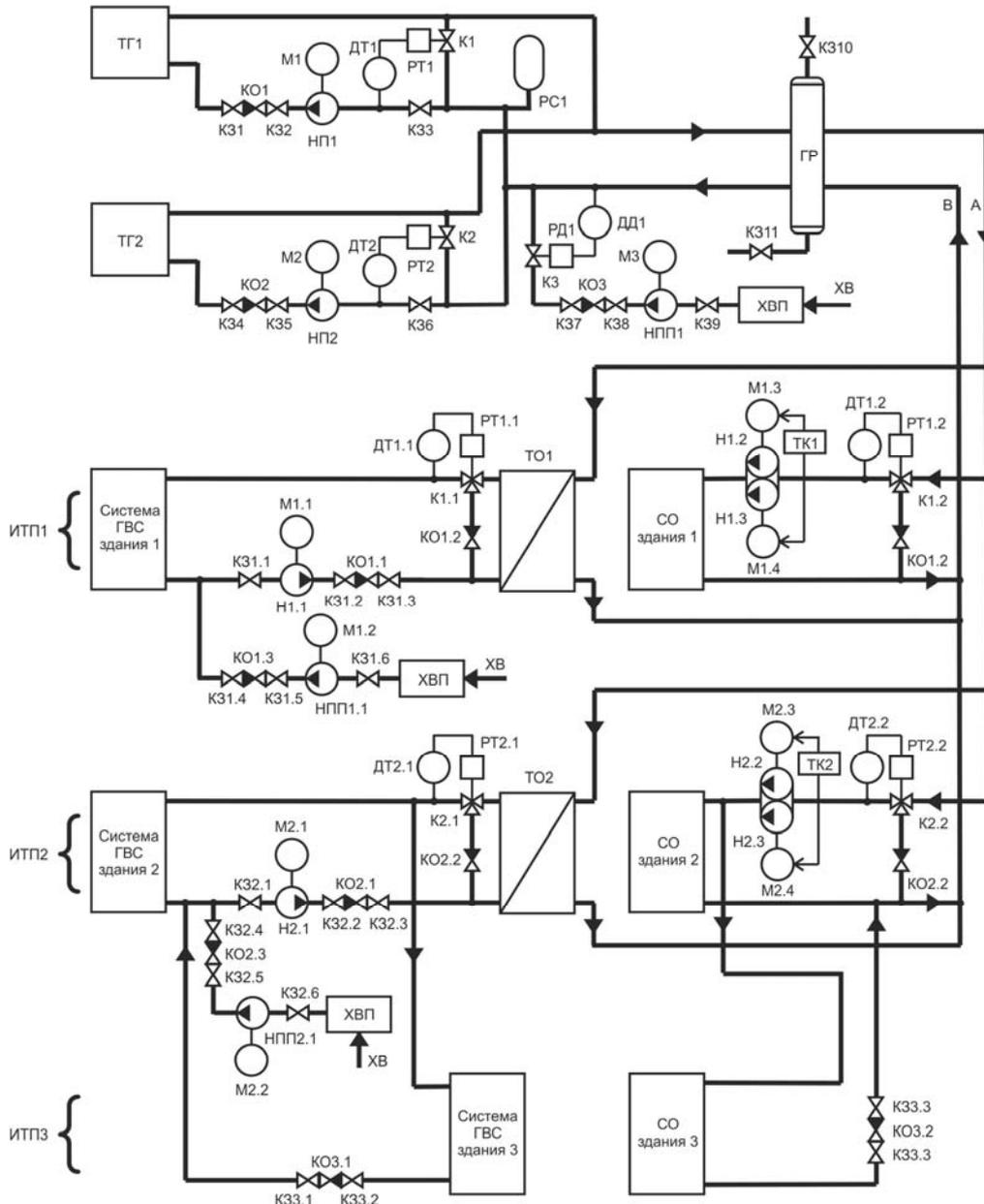


Рис. 4. Блок-схема АИТ для зданий с несколькими ИТП

2. Системы отопления зданий, подключенные к АИТ по зависимой схеме и включающие регуляторы температуры прямого действия (РТ<sub>і.2</sub>) с трехходовыми клапанами (К<sub>і.2</sub>) и датчиками температуры (ДТ<sub>і.2</sub>), моноблоки

циркуляционных насосов (Н<sub>і.1</sub>) с электроприводами (М<sub>і.1</sub>) и контроллерами (ТК<sub>і</sub>) для поочередного включения основных и резервных насосов, а также клапаны обратные (КО<sub>і.1</sub>) и шаровые краны (КЗ<sub>і.1</sub>). Индивидуальные те-

пловые пункты с системами отопления и ГВС (ИТП1, ИТП2) имеют большую тепловую нагрузку, а ИТП3 – относительно малую. Такое техническое решение в виде системы управления теплоснабжением комплекса зданий направлено на минимизацию затрат при создании систем автоматизации и индивидуальных тепловых пунктов зданий с системами отопления и ГВС, а также на уменьшение эксплуатационных расходов на системы автоматизации ИТП за счет уменьшения количества применяемых элементов автоматизации и на повышение эффективности функционирования систем автоматизации и ИТП зданий в целом. Следует отметить, что при проектировании, например, ИТП2 обязательно учитываются дополнительные тепловые нагрузки ИТП3. Для упрощения представления разработки (см. рис. 4) системы автоматического регулирования СО и ГВС ИТП зданий представлены на базе регуляторов прямого действия. В реальных системах они выполнены на базе контроллеров, исполнительных механизмов, регулирующих клапанов и датчиков температуры.

Исследуем на основе экспериментальных исследований и имитационного моделирования в среде Simulink особенности процессов в ИТП 3-х зданий с системами теплоснабжения с возможностью изменения расхода теплоносителя в СО каждого ИТП здания. В этой системе через технологическую камеру (ТК1) осуществляется связь АИТ с 3-мя ИТП зданий, содержащих 6 объектов управления: здание 1 – систему отопления (ИТП1), здание 2 – СО (ИТП2) и приточно-вентиляционную установку (ПВУ1), здание 3 – СО (ИТП3), ПВУ2 и тепловую завесу (ТЗ1). В ИТП зданий применяется схема зависимого присоединения систем отопления, ПВУ и ТЗ1. При разработке структурной схемы имитационного моделирования особенностей управления теплоснабжением

этих объектов их гидравлические сопротивления определялись на основе экспериментальных исследований, а гидравлические сопротивления трубопроводов до этих объектов вычислялись классическим методом с учетом их диаметров, длин, изгибов и т.д. Расход теплоносителя измерялся с помощью ультразвукового расходомера типа Portaflow, а давление определялось прибором Метран-100ДА [3]. При моделировании СО здания применялись следующие уравнения:

$$\begin{cases} T_1 G_1(t) + T_o(t) \cdot (G_{co} - G_1(t)) = G_{co} T_{co}(t), \\ G_{ок}(t) + G_1(t) = G_{co}, \\ \tau_1 \tau_2 \frac{d^2 T_o}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dT_o}{dt} + T_o(t) = k T_{co}(t). \end{cases} \quad (1)$$

здесь  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и  $k$  – соответственно постоянные времени и коэффициент передачи СО, определяемые при параметрической идентификации СО здания;  $G_1(t)$  и  $T_1(t)$  – соответственно расход теплоносителя и его температура на входе ИТП,  $G_{ок}(t)$ ,  $G_{co}(t)$  – расходы на перемычке при зависимой схеме подключения и в подающем трубопроводе СО. Первое уравнение системы (1) учитывает смешивание теплоносителей, 2 – уравнение неразрывности потоков, 3 – уравнение, описывающее процессы в СО, причем  $T_o(t)$  и  $T_{co}(t)$  соответственно температуры теплоносителя в обратном и подающем трубопроводах СО. Результаты исследования распределения расходов теплоносителя в подающих трубопроводах этих объектов при функционировании их в рабочих режимах (РР) и с учетом условий, при которых расходы теплоносителя в заданных объектах последовательно принимались равными нулю, представлены в таблице.

**Таблица.** Расходы теплоносителей в зданиях с инженерными системами

Режим работы исследуемых объектов	Расход теплоносителя по объектам, м <sup>3</sup> /ч					
	здание 1		здание 2		здание 3	
	ТП1 G <sub>11</sub>	ТП2 G <sub>21</sub>	ПВУ1 G <sub>22</sub>	ТП3 G <sub>31</sub>	ПВУ2 G <sub>32</sub>	ТЗ1 G <sub>33</sub>
Все объекты в РР	7,0	14,0	2,50	16,40	5,60	1,20
G <sub>11</sub> = 0, в остальных РР	0	16,80	2,90	18,76	6,80	1,40
G <sub>21</sub> = 0, в остальных РР	10,50	0	3,70	22,37	8,30	1,70
G <sub>31</sub> = 0, в остальных РР	10,80	21,40	3,70	0	8,80	1,85
G <sub>11</sub> и G <sub>21</sub> = 0, остальные в РР	0	0	4,87	28,67	10,90	2,21

Анализ результатов показывает (см. табл.), что относительные соотношения расходов в подающих трубопроводах объектов в рабочих режимах, следующие: G<sub>11</sub> – 15,0%; G<sub>21</sub>

– 30,0%; G<sub>22</sub> – 5,4%; G<sub>31</sub> – 35,1%; G<sub>32</sub> – 12,0%; G<sub>33</sub> – 2,5%. Учитывая, что максимальный расход в системе теплоснабжения 3-х зданий наблюдается в ИТП3, поэтому рассмотрим этот

вариант с учётом  $G_{31} = 0$ . Перераспределения соотношений расходов теплоносителя между остальными объектами, находящимися в РР следующие:  $G_{11} - 23,1\%$  (↑ на 8,1%);  $G_{21} - 46,0\%$  (↑ на 16,0%);  $G_{22} - 8,0\%$  (↑ на 2,6%);  $G_{32} - 19,0\%$  (↑ на 7,0%);  $G_{33} - 3,9\%$  (↑ на 1,4%). Зависимость изменения суммарных расходов  $G_{\Sigma i}$  в исследуемых зданиях 2 и 3 при условии  $G_{11} = 0$  с учётом экспериментов, показана на рис. 5.

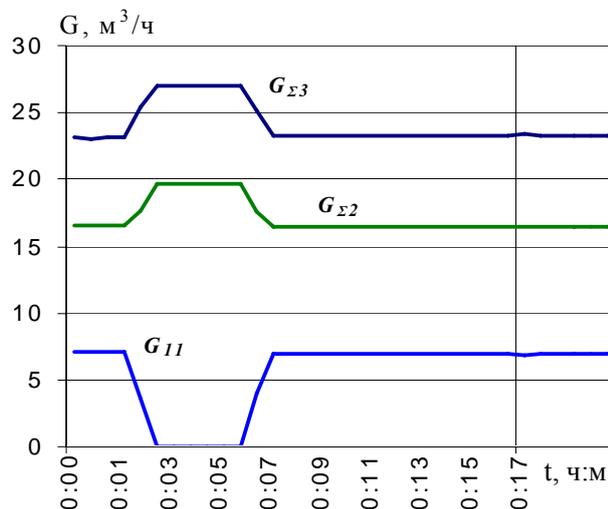


Рис. 5. Зависимость изменения суммарных расходов  $G_{\Sigma i}$  в зданиях 2 и 3

**Выводы:** при переходе на децентрализованное теплоснабжение нельзя подключать к АИТ часть автоматизированных ИТП, а остальную часть с малой тепловой нагрузкой оставлять без автоматизации. Исследования показали, что в этом случае перераспределение

соотношений расходов теплоносителя между распределенными объектами определяется их гидравлическими сопротивлениями, которые в свою очередь зависят от положений штоков регулирующих клапанов систем автоматизации. Тогда, например, при программном снижении температуры (в вечернее и ночное время) в автоматизированных ИТП соответственно скачкообразно уменьшится на вводах ИТП зданий расход потребляемого теплоносителя, а это приведет к перераспределению соотношений расходов теплоносителя между неавтоматизированными ИТП, т.е. с элеваторными узлами. В этом случае ожидаемого снижения потребляемой тепловой энергии в целом не произойдет.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Потапенко, А.Н.* Автоматизированное управление процессом централизованного теплоснабжения распределенного комплекса зданий с учетом моделирования этих процессов / *А.Н. Потапенко, Е.А. Потапенко, А.С. Солдатенков, А.О. Яковлев* // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2007. № 6-7. С. 123-136.
2. *Хаванов, П.А.* Автономная система теплоснабжения – альтернатива или шаг назад? // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2004. №1. С. 34-37.
3. *Солдатенков, А.С.* Исследование процессов перераспределения энергоносителя при частичной автоматизации распределенного комплекса зданий / *А.С. Солдатенков, А.Н. Потапенко* // Международный научно-технический журнал "Світлотехника та електроенергетика". 2009. №2 (18). С. 4-8.

## INNOVATIONS IN THE AUTOMIZED SYSTEMS OF CENTRALIZED AND DECENTRALIZED HEAT SUPPLIES IN BUILDINGS FOR EDUCATIONAL PURPOSE

© 2010 A.S. Soldatenkov, E.A. Potapenko, A.O. Yakovlev  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhov

Features of automated management of process of centralized heat supply in the arranged complex of buildings are considered, and also on the basis of simulation modeling and experimental data variants of possible fractional redistribution of the heat-carrier between objects of buildings complex at the decentralized heat supply, resulting as a whole to lowering economic efficiency of automated management are displayed.

Key words: *energy saving, heat supply, simulation modeling, automized system*

*Aleksey Soldatenkov, Senior Teacher at the Department of Electrical Engineering and Automation. E-mail: aser@pisem.net*

*Evgeniy Potapenko, Candidate of Technical Sciences Professor at the Department of "Arranging and Safety of Traffic". E-mail: potapenko@intbel.ru*

*Aleksey Yakovlev, Senior Teacher at the Department of Electric Power Industry. E-mail: aoalexey@gmail.com*