

средств контроля для получения их корректной конфигурации и других целей.

Для решения проблемы корректности конфигурации межсетевых экранов в статье рассмотрен общий подход, позволяющий получать конфигурацию на основе формального описания политики доступа с использованием *Org-VAC* модели. С ее помощью администратор может задавать общие абстрактные правила доступа, по которым формируются уже конкретные правила для субъектов и объектов системы. Также описан общий принцип, по которому конкретные правила доступа могут быть соотнесены с правилами фильтрации межсетевых экранов.

Применение аппарата сетей Петри и, в частности, временных алгебраических сетей Петри, базирующегося на свойствах свободного моно-

ида над конечным алфавитом, позволяет задать требования к автоматизированным информационным системам и средствам обеспечения информационной безопасности с помощью разработки спецификаций в терминах ВАСП на основе конечного числа правил конфигурации устройств защиты информации.

Решение задачи разграничения доступа к сетевым ресурсам на основе тематики контента позволяет значительно упростить описание политики доступа и сводится к вычислению функции тематической категоризации *G* и функции фильтрации *F*. Задача динамического вычисления *G* пока представляет наибольшую трудность в связи с отсутствием эффективных алгоритмов, способных за ограниченное время произвести достоверный семантический анализ контента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мэйводд Э. Безопасность сетей. М.: Эком, 2006. 528 с.
2. Organization Based Access Control / Abou El Kalam A., El Baida R., Balbiani P. и др. / IEEE 4th International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks (Policy 2003). Lake Como, Italy. June 4–6 2003.
3. Cuppens F., Cuppens-Boulahia N., Sans and A. Minge T. A formal approach to specify and deploy a network security policy / Second Workshop on Formal Aspects in Security and Trust (FAST). Toulouse, France, August 2004.
4. Zaborovsky V. Network Complexity: Cross-Layer Models and Characteristics // Proc. AICT 2007. Morne, Mauritius.
5. Скиба В.Ю. Временные алгебраические сети Петри // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2008. № 2. С. 15–22.
6. Силышев А.В. Модели и методы скрытой контентной фильтрации прикладных протоколов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2007. Т. 2, № 4. С. 117–121.

УДК 621.316:629.12.06.001.4

А.В. Григорьев, О.С. Хватов

СУДОВАЯ ВАЛОГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

Повышение экономичности судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) — одна из основных задач современного судостроения. Решение данной проблемы может быть связано с применением валогенераторных установок (ВГУ), которые для производства электроэнергии используют мощность главной энергетической установки. Использование ВГУ позволяет уменьшить себестоимость электроэнергии, снизить эксплуатационные расходы, повысить надежность СЭЭС [1].

Один из основных показателей, доказывающих целесообразность применения ВГУ в составе СЭЭС, — уменьшение себестоимости электроэнергии в среднем на 15–20 %.

Валогенераторы (ВГ) приводятся в движение непосредственно от главного двигателя (ГД). В случае применения в качестве движителя винта фиксированного шага (ВФШ) ГД валогенераторы в эксплуатационных режимах работают с переменной частотой вращения. В силу этого



возможность применения ВГУ связана с решением задачи стабилизации частоты и напряжения вырабатываемой электроэнергии при переменной частоте вращения ГД.

Существует большое разнообразие ВГУ с разными конструкторскими и техническими решениями. По способу стабилизации электрических параметров ВГУ можно разделить на установки с постоянной и переменной частотой вращения валогенератора.

В ВГУ первого типа поддержание постоянства частоты вращения ВГ осуществляется за счет постоянства частоты вращения ГД (на судах с ВРШ) или с помощью дополнительных стабилизирующих устройств, к которым относятся планетарные передачи, электромагнитные муфты скольжения и гидравлические системы стабилизации.

В установках второго типа частота вращения ВГ изменяется в широких пределах, а стабилизация электрических параметров вырабатываемой электроэнергии осуществляется с помощью электромашинных или полупроводниковых преобразователей электроэнергии (ПП).

Наибольшее распространение нашли ВГУ на судах с ВРШ и установки с синхронным ВГ и ПП на базе ведомого инвертора на судах с ВФШ. Оба типа ВГУ примерно равнозначны с точки зрения технико-экономической эффективности их использования и имеют ряд существенных недостатков.

Среди недостатков ВГУ на судах с ВРШ следует отметить низкую экономичность ГД при работе на долевых нагрузках; невозможность использования ВГ при сильном волнении моря; сложность реализации режима параллельной работы ВГ и дизельгенератора (ДГ).

К основным недостаткам ВГУ с синхронным ВГ и ПП в якорной цепи можно отнести необходимость использования преобразователя, рассчитанного на полную мощность ВГУ, снижение качества электроэнергии в судовой сети и, как следствие, необходимость применения фильтрокомпенсирующих устройств и синхронных компенсаторов.

Современное состояние полупроводниковой и микропроцессорной техники позволяет создать ВГУ нового поколения, лишенные отмеченных недостатков. Одним из наиболее перспективных с точки зрения технико-экономической эффективности и функциональных возможностей считается ВГУ с асинхронизированным ВГ.

К достоинствам ВГУ на базе асинхронизированных ВГ следует отнести применение ПП значительно меньшей мощности, более высокое качество вырабатываемой электроэнергии, возможность параллельной работы со вспомогательным ДГ, возможность двигательного режима работы, высокое КПД установки.

В последние годы несколько ведущих зарубежных фирм, среди которых следует отметить Siemens и A. Von Kaick Neu-Isenburg GmbH & Co KG, приступили к созданию и производству ВГУ на базе асинхронизированных ВГ, что подтверждает перспективность установок данного типа.

В нашей стране накоплен определенный научный и практический опыт по созданию ВГУ на базе асинхронизированных электрических машин. Работы в данном направлении успешно ведутся в Государственной морской академии им. адм. С.О. Макарова, Нижегородском государственном техническом университете и Волжской государственной академии водного транспорта [1, 2]. Сегодня для создания современной отечественной ВГУ на базе асинхронизированного ВГ необходимо решить комплекс научно-технических задач, связанных с обоснованием технических и конструкторских решений, синтезом систем автоматического управления и т. п. Это возможно осуществить путем создания математической, компьютерной и физической модели установки, проведением вычислительных и натурных экспериментальных исследований.

Асинхронизированные синхронные машины (АСМ), или машины двойного питания, представляют собой асинхронную машину с фазным ротором, которая имеет симметричную двух- или трехфазную обмотку возбуждения. Обмотка возбуждения АСМ получает питание от источника электроэнергии переменного тока, в связи с чем частота электроэнергии, вырабатываемой асинхронизированным ВГ, пропорциональна частоте вращения ротора и частоте тока в обмотке возбуждения:

$$\omega_{\text{ВГ}} = \omega_p \pm \omega_n,$$

где $\omega_{\text{ВГ}}$ — угловая частота напряжения ВГ; ω_p — угловая частота вращения ротора ВГ; ω_n — угловая частота напряжения в обмотке возбуждения ВГ.

Поддержание постоянной частоты вырабатываемой электроэнергии в асинхронизированном ВГ осуществляется путем изменения частоты тока в обмотке возбуждения. В установившемся режиме по обмотке возбуждения ВГ протекает ток

с частотой скольжения $\omega_s = \omega_p$, который формируется ПП, подключенным к обмотке возбуждения электрической машины. В результате статор ВГ будет пронизывать магнитный поток с постоянной синхронной частотой вращения ($\omega_c = \text{const}$). При этом магнитное поле ротора должно вращаться согласно с валом, когда частота вращения вала меньше синхронной ($\omega_p < \omega_c$), и встречно — в противоположном случае ($\omega_p > \omega_c$). При равенстве частот ($s = 0$) магнитное поле должно оставаться неподвижным относительно ротора.

Мощность, снимаемая со статорной обмотки ВГ ($P_{ВГ}$), определяется следующим образом:

$$P_{ВГ} = M\omega_c = M(\omega_p \pm \omega_s) = P_p \pm P_v, \quad (1)$$

где M — момент на валу ВГ; ω_c — угловая частота магнитного потока; P_p — мощность на валу ВГ; P_v — мощность в цепи возбуждения ВГ.

Из выражения (1) можно получить наглядное энергетическое соотношение, позволяющее связать мощность в цепи возбуждения со скольжением s и мощностью ВГ [3]:

$$P_v = P_{ВГ} s.$$

Таким образом, мощность в цепи возбуждения асинхронизированных ВГ пропорциональна скольжению и, следовательно, увеличивается с уменьшением частоты вращения ВГ.

Внешние характеристики асинхронизированного ВГ значительно жестче, чем синхронной машины, и при скольжении, близком к единице, приближаются к характеристикам трансформатора вследствие того, что обмотка возбуждения создает поток, компенсирующий размагничивающее действие реакции якоря. Механическая

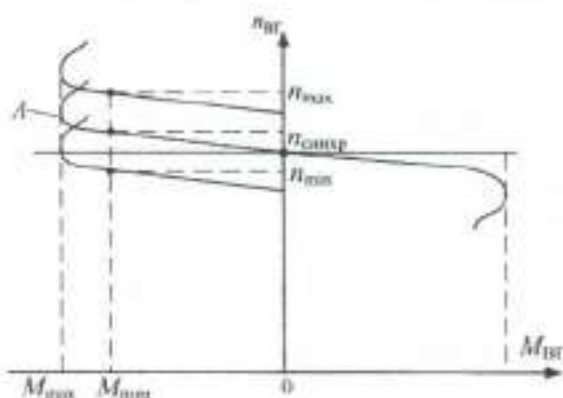


Рис. 1. Механические характеристики асинхронизированного ВГ
А — естественная характеристика

характеристика асинхронизированного ВГ представлена на рис. 1.

Векторная диаграмма асинхронизированного ВГ при регулировании вверх и вниз от синхронной частоты приведена на рис. 2.

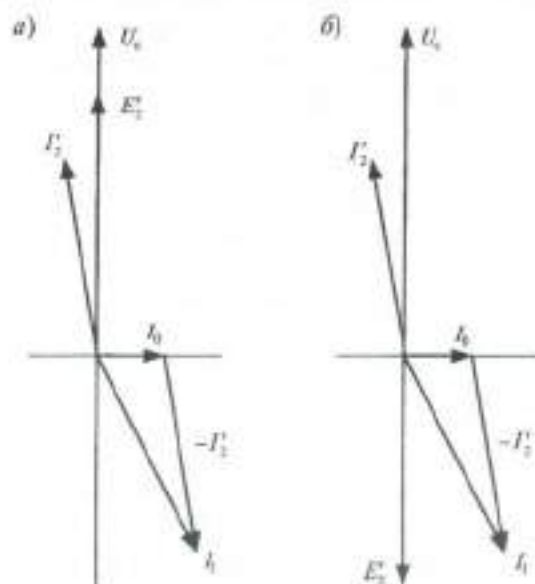


Рис. 2. Векторная диаграмма асинхронизированного ВГ:

а — $\omega_p > \omega_c$; б — $\omega_p < \omega_c$
 U_c, I_1 — напряжение и ток ВГ,
 E_c, I_2 — ЭДС фазы и ток возбуждения,
приведенные к якору; I_e — ток намагничивания

Опыт эксплуатации ВГУ показал, что подавляющее большинство времени диапазон изменения частоты вращения ГД находится в пределах 30 % от номинальной частоты вращения. Поэтому целесообразно рассчитывать систему возбуждения и ПП на 15 % от номинальной мощности ВГ. При этом за номинальную частоту вращения ВГ ($\omega_s = 0$) следует выбирать $n_{ВГ} = 0,85n_{ГД}$, где $n_{ГД}$ — номинальная частота вращения ГД. При номинальной частоте вращения асинхронизированный ВГ работает как синхронная машина с питанием обмотки возбуждения постоянным током.

Структурная схема ВГУ с асинхронизированным ВГ и ПП со звеном постоянного тока на базе неуправляемого выпрямителя (НВ) и автономного инвертора (АИ) представлена на рис. 3.

В качестве ПП могут использоваться преобразователи с непосредственной связью (циклоконвертеры). Диаграмма распределения мощностей в ВГУ с асинхронизированным в ВГ показана на рис. 4.

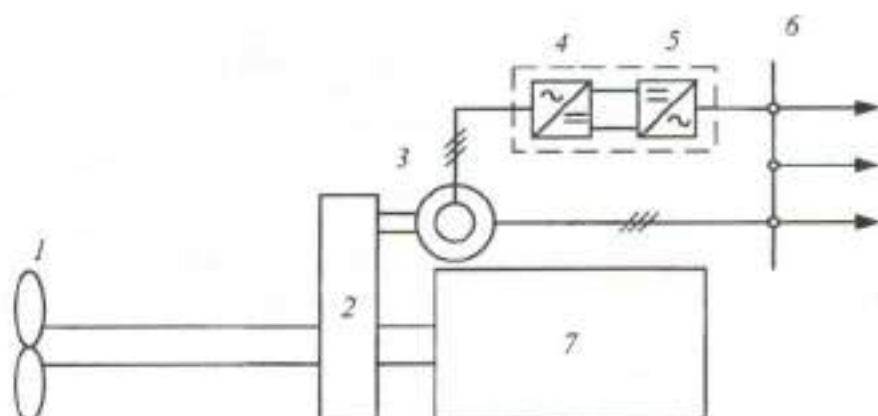


Рис. 3. ВГУ на базе асинхронизированного ВГ

1 — ВФШ; 2 — редуктор; 3 — асинхронизированный ВГ; 4 — НВ; 5 — АИ; 6 — ГРЩ; 7 — ГД

При автономной работе в режиме источника электроэнергии асинхронизированный ВГ отдает в судовую сеть активную и реактивную мощности ($P_{авГ}$, $Q_{авГ}$). Система возбуждения потребляет активную и реактивную мощности ($P_{св}$, $Q_{св}$). Баланс мощностей в судовой сети может быть представлен в виде уравнений:

$$P_{авГ} = P_{св} + P_{эл};$$

$$Q_{авГ} = Q_{св} + Q_{эл};$$

где $P_{авГ}$, $P_{св}$, $P_{эл}$, $Q_{авГ}$, $Q_{св}$, $Q_{эл}$ — активная и реактивная мощности асинхронизированного ВГ, системы возбуждения и судовых электропотребителей.

Поддержание постоянства напряжения осуществляется за счет регулирования магнитного потока с помощью системы возбуждения. Поддержание постоянства частоты напряжения в судовой сети осуществляется за счет регулирования частоты тока в обмотке возбуждения.

В данных ВГУ возможен режим длительной параллельной работы с ДГ и двигательный режим работы ВГ. При работе в двигательном режиме асинхронизированный ВГ потребляет активную мощность, вырабатываемую ДГ ($P_{сг}$). При этом ВГ может не потреблять из сети реактивную мощность и даже генерировать ее в сеть, разгружая ДГ по реактивному току. При этом выполняются равенства:

$$P_{дГ} = P_{авГ} + P_{св} + P_{эл};$$

$$Q_{дГ} = Q_{авГ} + Q_{св} + Q_{эл};$$

где $P_{авГ}$, $P_{св}$, $P_{эл}$, $P_{дГ}$, $Q_{авГ}$, $Q_{св}$, $Q_{эл}$, $Q_{дГ}$ — соответственно активная и реактивная мощности

асинхронизированного ВГ, системы возбуждения ВГ, судовых электропотребителей, синхронного генератора ДГ.

При параллельной работе система возбуждения позволяет обеспечить синхронную и синифазную работу ВГ с судовой сетью без дополнительных устройств синхронизации. Следует отметить, что асинхронизированный ВГ при частоте вращения, отличной от синхронной, менее чувствителен к колебаниям нагрузки в судовой сети [4].

Асинхронизированный ВГ может выполняться бесщеточным. Принципиальная схема бесщеточного асинхронизированного ВГ представлена на рис. 5.

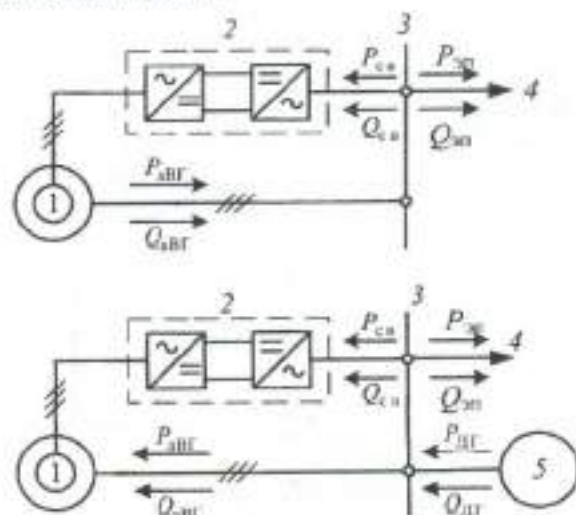


Рис. 4. Диаграмма распределения мощностей в ВГУ

1 — асинхронизированный ВГ; 2 — ПП; 3 — ГРЩ; 4 — судовые электропотребители

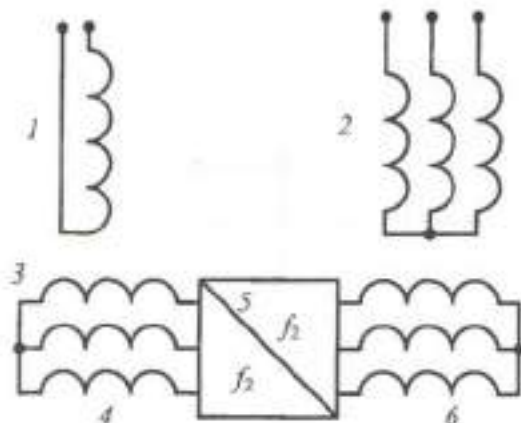


Рис. 5. Бесщеточный асинхронизированный ВГ

- 1 – обмотка возбуждения возбуждателя;
- 2 – якорная обмотка ВГ; 3 – ротор ВГ;
- 4 – якорная обмотка возбуждателя; 5 – ПП;
- 6 – обмотка возбуждения ВГ

Переменный электрический ток, наводимый в якорной обмотке возбуждателя, преобразуется с помощью ПП частоты в переменный ток регулируемой частоты, поступающий в трехфазную обмотку возбуждения асинхронизированного ВГ.

Функциональная схема системы автоматического регулирования (САР) ВГУ с асинхронизированным ВГ представлена на рис. 6, где приняты следующие обозначения: ДН, ДЧ – датчики амплитуды и частоты напряжения, ДТ – датчик тока; $U_{3н}, U_{3ч}$ – задание на величину амплитуды и частоты напряжения; $U_{Дта}, U_{Дтр}$ – сигналы, пропорциональные активной и реактивной составляющим тока статора; α, φ_2 – угол управления роторным блоком полупроводниковых элементов ПП и фаза тока ротора; $\beta, \varphi_{ПЧ}$ –

угол управления сетевым блоком полупроводниковых элементов и фаза сетевого тока ПП.

Основой математической модели динамических режимов асинхронизированного ВГ является его линеаризованная структура (2) и система уравнений связи АСМ и нагрузки (3) [2].

Система уравнений (2) получена на базе уравнений Парка – Горева, записанной в синхронно вращающихся координатах X, Y , при этом опорный вектор вращается с частотой вращения поля статора ω_1 :

$$\begin{aligned} U_{1X} &= -\omega_1 X_1 I_{1Y} + \omega_1 X_m I_{2Y}; \\ X_1 I_{1X} + X_m I_{2X} &= 0; \\ U_{2X} &= R_2 I_{2X} + p \sigma X_2 I_{2X} - E_{2Y}; \\ U_{2Y} &= R_2 I_{2Y} + p \sigma X_2 I_{2Y} + E_{2X}; \\ U_{1X} / \omega_1 &= \omega J_{\Sigma} p / I_{1X}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $I_{1X}, I_{1Y}, I_{2X}, I_{2Y}$ – проекции векторов токов статора и ротора на осях X и Y ; U_{2X}, U_{2Y} – проекции вектора напряжения ротора на осях X и Y ; E_{2Y} и E_{2X} – проекции ЭДС вращения ВГ; J_{Σ} – суммарный момент инерции ВГ, приведенный к валу двигателя; σ – коэффициент рассеяния.

Система уравнений связи асинхронизированного ВГ и судовой нагрузки имеет вид

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{ВГ} - P_{ан}; \\ \omega_1 - \omega_{ст} &= \frac{d}{dt} \Delta \alpha; \\ \Delta \alpha &\approx \Delta P; \\ (I_{рВГ} - I_{ран}) K_{св} &\approx \Delta U_1, \end{aligned} \quad (3)$$

где $P_{ВГ}, P_{ан}$ – активная мощность ВГ и судовой нагрузки; $\omega_{ст}$ – эталонное значение частоты на-

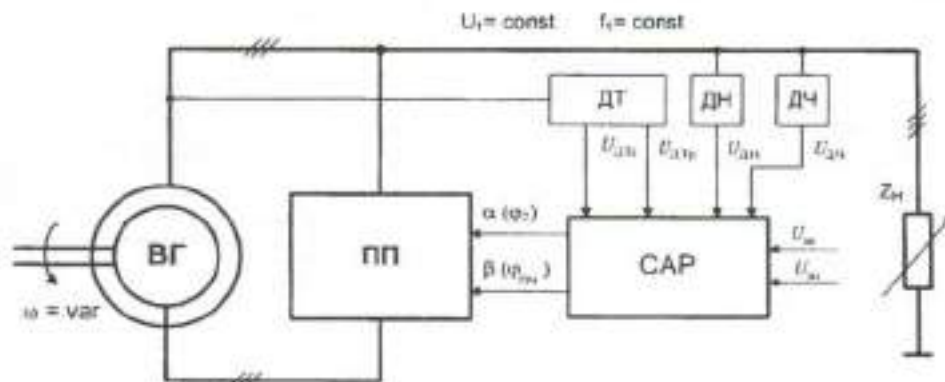


Рис. 6. Функциональная схема САР ВГУ

пряжения статора ВГ; $\Delta\alpha$ — изменение фазы вектора напряжения статора; $I_{pВГ}$, $I_{pЭП}$ — реактивные составляющие токов ВГ и нагрузки; ΔU_1 — изменение величины напряжения статора ВГ; $K_{св}$ — коэффициент связи между током возбуждения и амплитудой генерируемого напряжения ВГ.

Функциональная схема ВГУ и математическая модель АСМ, представленные в статье, могут служить основой для создания структурной и компьютерной модели установки с целью проведения вычислительных экспериментов и синтеза оптимальной САР напряжения и частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А.В., Петухов В.А. Современные и перспективные судовые валогенераторные установки: Монография / ГМА им. адм. С.О. Макарова. СПб., 2009.
2. Хватов О.С. Управляемые генераторные комплексы на основе машин двойного питания: Монография. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та, 2000.
3. Козлов Д.Ю., Шгушф Э.П. Асинхронизи-

- рованная синхронная машина с преобразователем частоты для валогенераторной установки // Повышение топливоиспользования в судовых энергетических установках: Сб. науч. тр. / В/О "Мортехинформреклама", М., 1989.
4. Дранкин А.Е., Когасенко Г.И., Лазаревский Н.А. Асинхронизированный синхронный валогенератор // Тр. ЦНИИ СЭТ. Вып. 10. Л.: Судостроение, 1974.

УДК 697.1

Л.Г. Муста

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА ПРИ ЭКРАНИРОВАНИИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОДНОСЛОЙНЫХ И ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Одна из сторон задачи экономии энергоресурсов — экономия тепла при отоплении помещений. К экономичным системам относят низкотемпературные системы панельно-лучистого отопления с расположенными в конструкции пола нагревательными элементами ("теплый пол"). Однако при использовании таких систем отопления возникает дополнительный лучистый теплообмен между нагретой поверхностью пола, стенами и потолком. Это приводит к повышению температуры внутренних поверхностей ограждений, а значит к увеличению теплообмена между наружной и внутренней частями внешней стены. Одно из наиболее эффективных и простых средств уменьшения теплопотерь через внешние стены помещения — экранирование соответствующей поверхности. Схема установки экрана показана на рис. 1. Между излучателем и наружной стеной устанавливаются специальные перегородки, защищающие стену от лучистого потока тепла. При этом между внутренней частью внешней стены и экраном образуется

вентилируемая воздушная прослойка, температура воздуха в которой ниже температуры воздуха в помещении, что приводит к снижению конвективного теплообмена (рис. 1, б). Таким образом экранирование позволяет снизить потери тепла через наружные ограждения.

Такие экраны ставят обычно в ночное и вечернее время и убирают днем. В процессе проведенных натурных исследований [1] выявлено, что при установке экрана изменяются коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности стены и температура пристенного воздуха. Из-за периодической установки экрана в наружных ограждениях возникает нестационарный процесс передачи тепла, в рамках которого граничное условие на внутренней поверхности стены будет зависеть от времени. Для вычисления теплопотерь через наружные стены необходимо решить задачу распределения температуры при установке экрана (стена охлаждается, см. рис. 1, б) и его снятия (стена нагревается, см. рис. 1, а).