

УДК 620.383

Н. Т. ИСЕМБЕРГЕНОВ, А. А. ЕРЖАН

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕРЕМЕННОЕ ТРЕХФАЗНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Модульный тип конструкций солнечных элементов позволяет создавать установки практически любой мощности и делает их весьма перспективными [1]. Недостатком солнечных элементов является высокая стоимость и низкий КПД. В связи с этим оптимальное использование солнечных элементов является актуальным вопросом при преобразовании в электроэнергию переменного трехфазного напряжения.

Один модуль солнечных элементов вырабатывает разные значения напряжения и разные значения постоянного тока [1]. При последовательном и параллельном соединении этих модулей можно получить электроэнергию любой мощности, напряжения и постоянного тока. Однако эту электроэнергию постоянного тока надо преобразовать в электроэнергию переменного трехфазного напряжения.

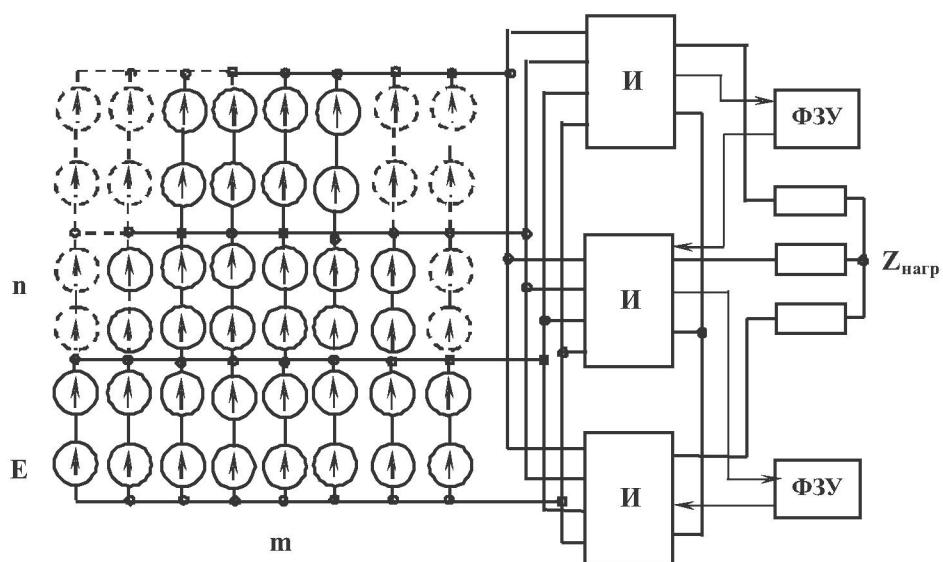
При преобразовании солнечной энергии в переменное трехфазное напряжение часть энергии солнечных элементов теряется в системе инвертирования или не доходит до потребителей за счет несинусоидальности формы кривой напряжения и соответственно фильтра. При этом не все подключенные дорогостоящие солнечные элементы (СЭ) будут максимально использованы. Это повышает стоимость солнечных преобразователей [2].

В данной работе оцениваются различные способы инвертирования энергии солнечных элементов в электроэнергию переменного трехфазного напряжения промышленной частоты с точки зрения рационального использования солнечных элементов и практического применения инверторов.

На рис. 1 представлена предлагаемая схема преобразования солнечной энергии в электроэнергию переменного трехфазного напряжения, где солнечная площадка состоит из  $n$  последовательно соединенных солнечных элементов и  $m$  параллельно соединенных  $n$  СЭ, которая вырабатывает определенную мощность. Постоянное напряжение солнечной площадки подается на трехфазный инвертор ( $I_3$ ) и преобразуется в переменное трехфазное напряжение. Анализ этой схемы показал, что не вся мощность, вырабатываемая СЭ, доходит до потребителя (до нагрузки  $Z_{\text{нагр}}$ ) из-за несовершенства системы преобразования постоянного напряжения в переменное [3].

При ступенчатом расположении солнечных элементов некоторое количество СЭ не используется, эти элементы показаны на рис. 1 пунктиром. Однако, следует отметить, что в данном случае трехфазное напряжение на выходе формируется из однофазных инверторов. Поэтому второй и третий инвертор должен иметь сдвиг

Рис. 1.  
Предлагаемая схема  
преобразование  
солнечной энергии  
на базе трех однофазных  
инверторов



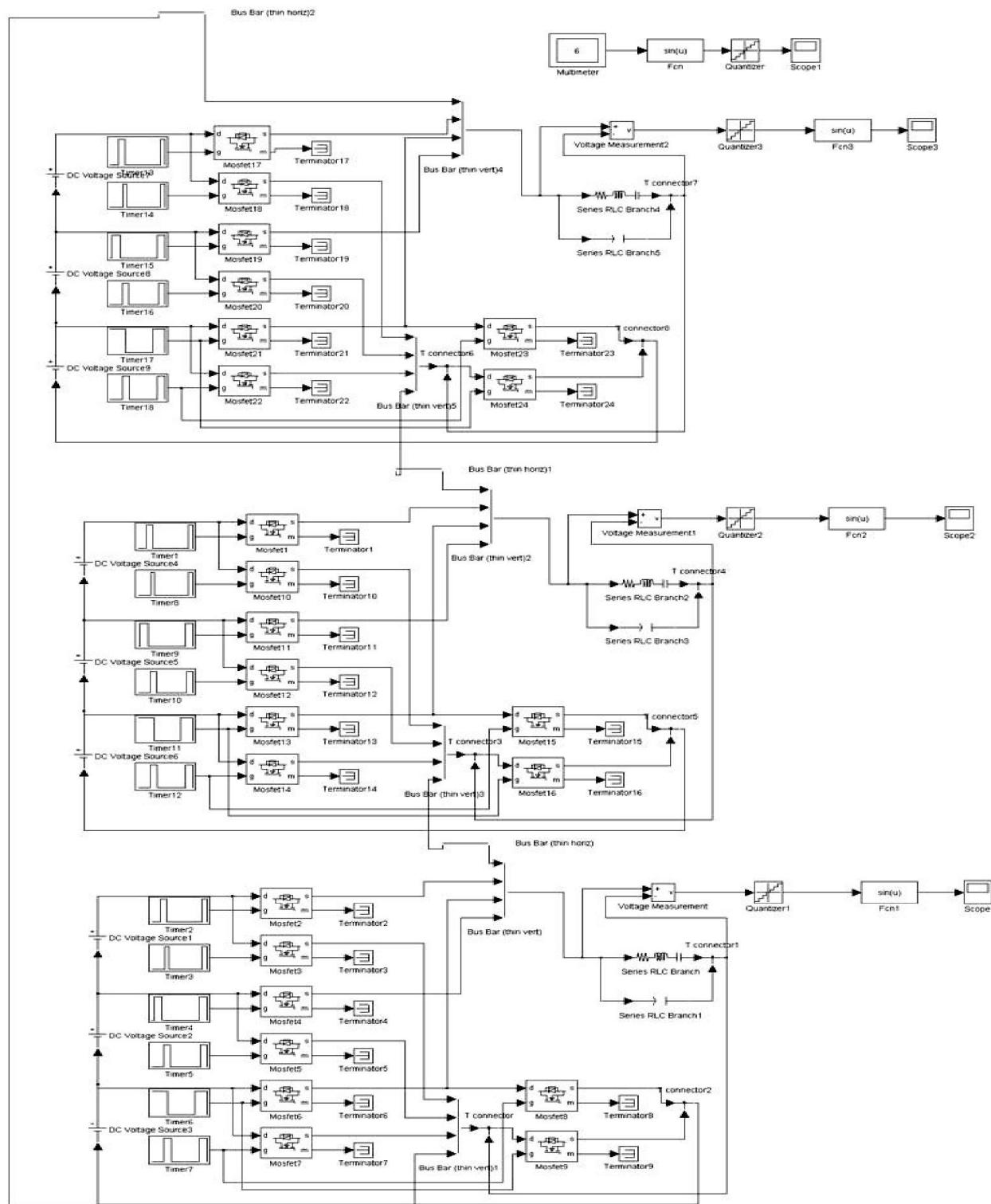


Рис. 2. Модель схемы преобразование энергии солнечных элементов на базе трех однофазных инверторов

фаз относительно первого соответственно на 120 и –120 градусов. Это осуществляется с помощью фазосдвигающего устройства (**ФЗУ**).

Гармонический анализ многоступенчатого выходного напряжения, показал, что для устранения высших гармоник составляющих с номерами от 3-го до  $p$ -го необходимо иметь всего  $n = 0,25(p+1)$  «ступенек» в кривой аппроксимирующей синусоиду напряжения. При этом амплитуда произвольно набранной  $m$ -ой «ступеньки»  $M_m$  и ее фазовый угол  $Q_m$ , отсчитанный от момента прохождения переменного напряжения через нулевое значение, должны быть выбраны из условий:

$$M_m = A_1 \sin \frac{\pi m}{2n+1} \left[ \frac{\pi}{2(2n+1)} \cos \frac{\pi}{2(2n+1)} \right];$$

$$Q_m = \frac{\pi}{2} \frac{2m+1}{2n+1},$$

где  $A_1$  – амплитуда основной (первой) гармоники выходного напряжения инвертора;  $m$  – порядковый номер «ступеньки» ( $m = 1, 2, 3, \dots, n$ ) [4].

На практике пока выпускают однофазные инверторы, поэтому надо из трех однофазных инверторов получить трехфазный инвертор.

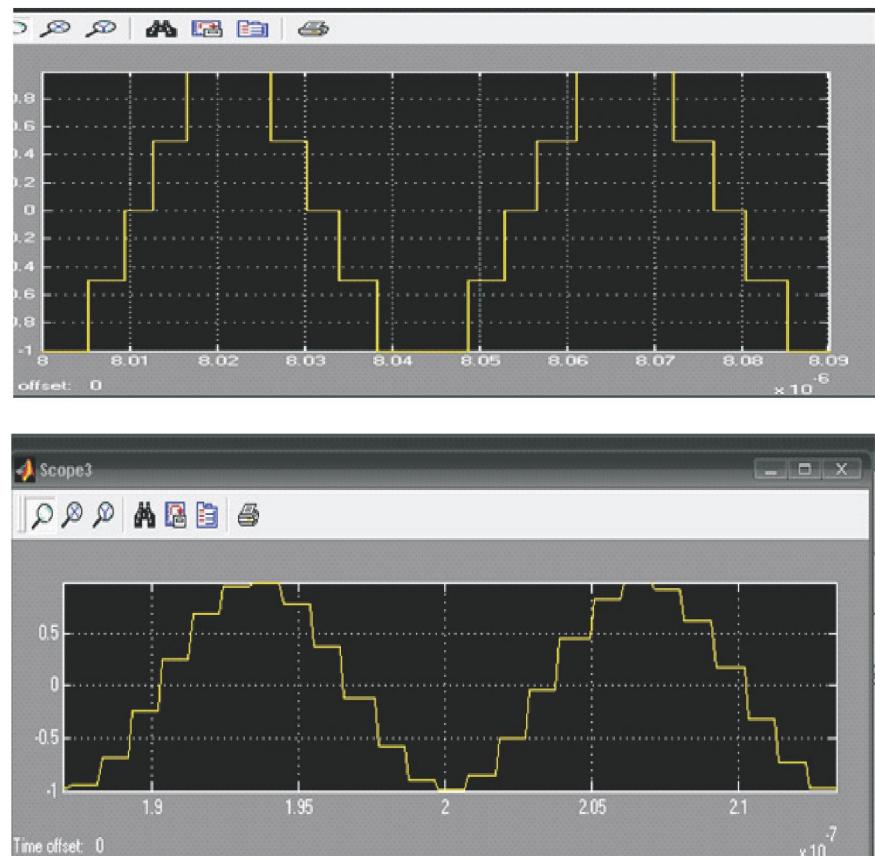
Система многоступенчатого трехфазного солнечного преобразователя состоит: из трех однофазных инверторов, где каждый инвертор работает автономно на общую трехфазную нагрузку, соединенную в звезду.

На рис. 2 показана модель схемы преобразования солнечной энергии на базе однофазных инверторов.

Моделирование осуществлялось в среде MatLab R12 v.6.0, этот пакет предназначен для решения математических вычислений любой сложности, для профессионального анализа и моделирования процессов в электрических цепях, статистической обработки результатов измерений и экспериментов, а также построения графиков [5].

При моделировании трехступенчатого трехфазного инвертора использовали библиотеку Simulink Library Browzers, а также SimPowerSystems. Для получения графиков с библиотеки Simulink использовали иконку Skope.

На рис. 3 показаны результаты моделирования схемы преобразования энергии солнечных элементов на базе трех однофазных инверторов. При чисто активной нагрузке (верхний график) и индуктивно-активной нагрузке (нижний график).



**Рис. 3.** Результаты моделирования схемы преобразование энергии солнечных элементов на базе трех однофазных инверторов

Из выше указанных результатов моделирования схемы преобразования энергии солнечных элементов на базе трех однофазных инверторов можно сделать вывод, что возможно трехфазное преобразование энергии солнечных элементов. Следует отметить, что при использовании трех однофазных инверторов в трехфазном солнечном преобразовании дает больше экономии солнечных элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии / Пер.с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 392 с.
2. Исембергенов Н.Т., Илипбаева Л.Б. Оптимальное использование солнечных элементов // Вестник КазНТУ им. К. И. Сатпаева. 2006. № 5(55).
3. Исембергенов Н.Т., Илипбаева Л.Б. Преобразование солнечной энергии в электроэнергию промышленной частоты и напряжения // Вестник НИА РК. 2006. № 1(19).

4. Ромаш Э.М., Дробевич Ю.И., Юрченко Н.Н., Шевченко П.Н. Высокочастотные транзисторные преобразователи. М.: Радио и связь, 1988. 288 с.

5. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. СПб.: КОРОНА, принт, 2001.

#### Резюме

Күн энергиясының үшфазалы анымалы кернеу электрэнергиясына түрленүінің схемасы қарастырылған. Сондай-ақ бір фазалы инвертор негізінде үш фазалы инвертор моделі көрсетілген.

#### Summary

In this paper, a scheme of converting solar energy into electrical alternating three-phase voltage. A model is constructed on the basis of three-phase inverters.

КазНТУ им. К. И. Сатпаева,  
г. Алматы

Поступила 15.09.10г.

УДК 621.313(075)

Н. Т. ИСЕМБЕРГЕНОВ, А. С. БАЙКЕНОВ, А. Ж. САГИНДИКОВА

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ УТЕЧКИ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ УЧАСТКОВ ГАЗОПРОВОДОВ

Предлагается модернизация нижнего уровня АСУТП системы SCADA. Суть предлагаемой модернизации заключается в вводе системы контроля на участках между ТЭГами газопроводов. Для обеспечения питания датчиков расхода и давления предлагается использовать гибридный волоконнооптический кабель.

В настоящее время в Республике Казахстан вопросы нефтяной и газовой отрасли являются наиболее актуальными. Газопроводы являются классическими объектами управления с применением SCADA-систем. Как правило, это двухуровневые системы, так как именно на этих уровнях реализуется непосредственное управление технологическими процессами. Специфика каждой конкретной системы управления определяется используемой на каждом уровне программно-аппаратной платформой.

Сейчас все большее распространение получают *автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП)*. Первые три уровня из этой структуры реализуют собственно АСУ ТП, а остальные уровни предполагают административное управление производственными процессами. Таким образом,

современные АСУ ТП можно разделить на три уровня – нижний, средний и верхний [1]. Данные, собранные нижестоящим уровнем, поступают на вышестоящий, т.е. реализуется классическая схема управления: восходящий поток данных и нисходящий поток команд.

Обмен между контроллером и операторской станцией осуществляется по промышленной сети (тип интерфейса и протокол определяется используемым контроллером) (рис. 1).

Устройства, подключенные к сети, используют ее для следующих целей: 1) передачи данных между датчиками, контроллерами и исполнительными механизмами; 2) диагностики и удаленного конфигурирования датчиков и исполнительных механизмов; 3) калибровки датчиков; 4) питания датчиков и исполнительных механизмов; 5) передачи данных между датчиками и исполнитель-



Рис. 1. Промышленные сети

ными механизмами, минуя центральный контроллер; 6) связи между датчиками, исполнительными механизмами, ПЛК и верхним уровнем АСУ ТП; 7) связи между контроллерами и системами человеко-машинного интерфейса (операторскими системами).

Средой передачи данных в промышленных сетях могут быть кабели, оптоволоконные линии или беспроводная связь (радиомодемы и Wi-Fi).

*В зависимости от области применения весь спектр промышленных сетей можно разделить на два уровня: 1) сети верхнего (операторского) уровня (*terminal buses*); 2) сети для системного уровня или полевые шины (*field buses*), которые решают задачи по управлению процессом производства, сбором и обработкой данных на уровне промышленных контроллеров. К этой же группе относятся сети так называемого датчикового уровня (*sensor/actuator buses*), чьи задачи сводятся к опросу датчиков и управлению работой разнообразных исполнительных механизмов.*

В статье для подачи питания на датчики давления предлагается использовать так называемый гибридный волоконнооптический кабель (рис. 2) [2]. Это особый тип кабелей, которые сконструированы как для общего применения, так и специальных, которые поставляются по специальному заказам. Применяются же они в случаях, когда необходимо использование обеих технологий и волоконно-оптической и витой пары, особенно, в случае, когда производится или намечается переход на оптоволокно. Применение кабеля этого типа не влечет за собой в ходе такого перехода нарушение существующей сети. Витая пара необходима для обеспечения питания датчиков давления и расхода на газопроводе. Оптоволокно может быть применено для организации ВОЛС системы SCADA.

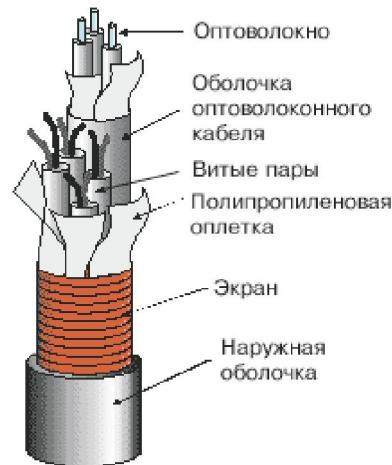
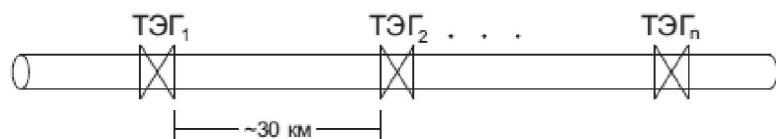


Рис. 2. Гибридный кабель

Для параметров состояния газопровода используются контрольно измерительные приборы:

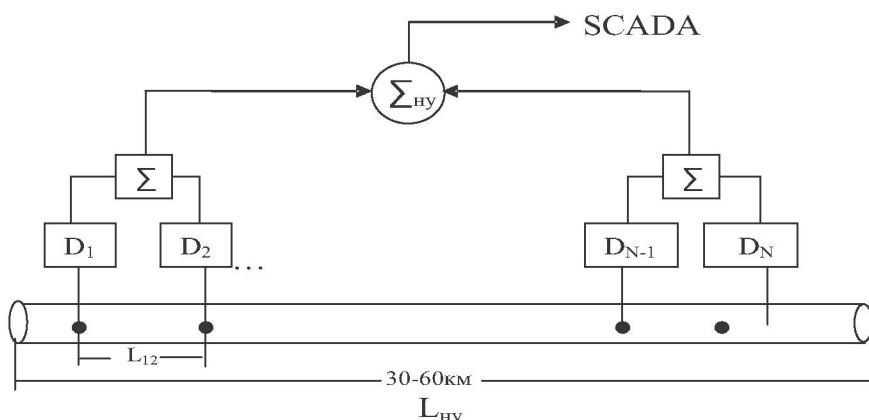
- анализ состава газа - инфракрасные и термохимические газо-анализаторы;
- наличие пламени - ультрафиолетовый детектор;
- расход - измерительная диафрагма, вихревой преобразователь;
- уровень - магнитно-поплавковый, радарный волноводный, реле уровня;
- давление, перепад давлений - манометры, тензометрические преобразователи;
- скорость вращения - магнитоиндукционные преобразователи;
- температура - термопреобразователь, термопара, реле температуры;
- наличие в масле металлической стружки - детектор стружки.

Чтобы обеспечить автономное питание датчиков вышеуказанных параметров, на газопроводах применяют термоэлектрические генераторы (ТЭГ), которые вырабатывают энергию для датчиков и устанавливаются на расстоянии примерно 30-60 км друг от друга (рис. 3) [1]. Поэтому ситуация о состоянии газопровода здесь (30-60 км) остается неясной. В статье предлагается ввести в систему контроля SCADA-систем информацию о расходе и давлении газа на этих неконтролируемых участках (НУ) газопроводов. Предлагается на расстоянии порядка 5 км ввести пары датчиков расхода. В первичных сумматорах будет вычисляться разность давлений на микрочастике (5 км). Все собранные данные будут сбираться в общем сумматоре и передаваться



в систему контроля **SCADA**-систем. Очевидно, при нормальном режиме работы разность давлений будет равной нулю в пределах погрешнос-

ти измерений. На рис. 4 представлена предлагаемая схема размещения датчиков давления и расхода.



Данная идея хорошо реализует контроль на всем участке неконтролируемого участка, осуществляется с помощью волоконнооптических линий связи, предлагаемая система хорошо вписывается с волоконнооптическими линиями связи, особенно среди них гибридная система, а питание осуществляется с ТЭГов.

$$\begin{aligned} Q_{11} &= Q_2 - Q_1 \\ Q_{22} &= Q_4 - Q_3 \end{aligned}$$

$$\dots$$

$$Q_{nn} = Q_n - Q_{n-1}$$

Если величины:  $Q_1 - Q_2 = Q_{11} \approx 0$ ;  
 $Q_3 - Q_4 \approx 0$   
 $Q_{11} - Q_{22} \approx 0$  в пределах погрешности измерений и

$\Sigma_{\text{нү}} \approx 0$ , то утечки на неконтролируемом участке нет.

Итого:  $Q_{ij} \neq 0$ , то утечка на участке  $L_{ij}$ .

На рис. 5 приведена блок-схема алгоритма контроля.

Датчик давления состоит в общем случае из первичного преобразователя, в составе которого чувствительный элемент и приемник давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей

Рис. 4. Схема расположения датчиков давления на неконтролируемом участке

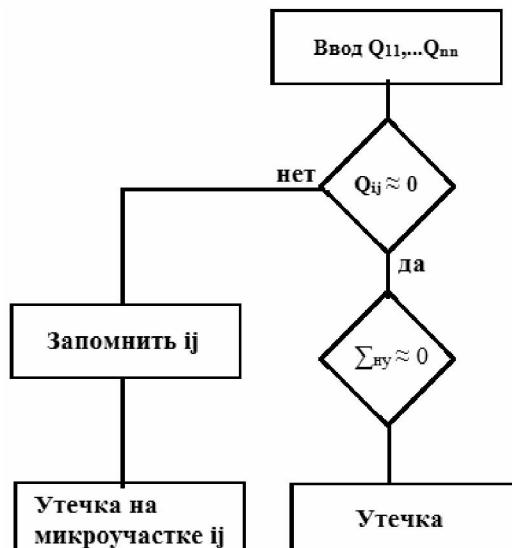


Рис. 5. Блок схема алгоритма контроля расхода газа

лей и устройства вывода. Основным отличием одних датчиков от других является точность регистрации давления, которая зависит от принципа преобразования давления в электрический сигнал: тензометрического, пьезорезистивного, емкостного.

Одним из самых распространенных принципов измерения расхода жидкостей, газов и паров

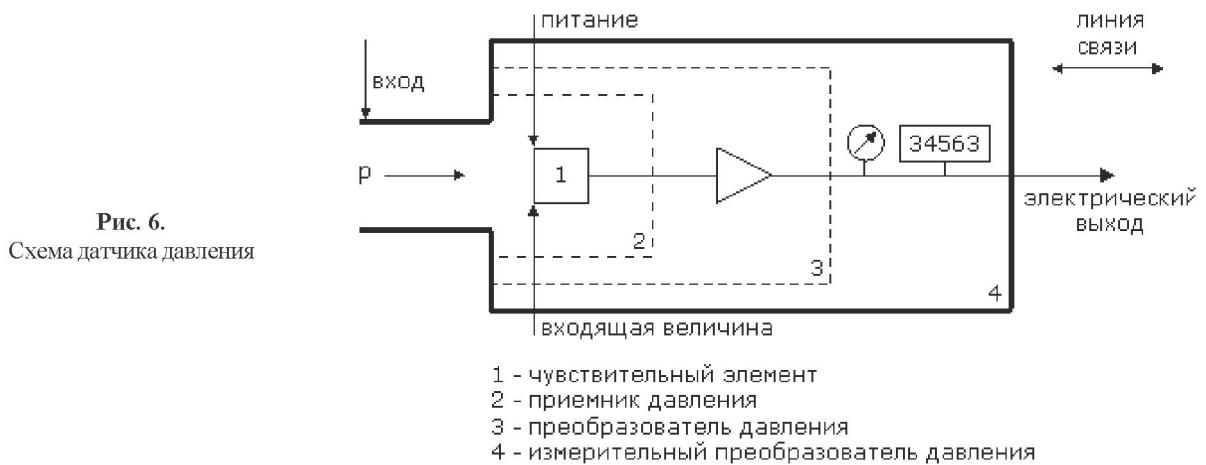


Рис. 6.  
Схема датчика давления

является принцип *переменного перепада давления на сужающем устройстве* [3]. В трубопроводе устанавливается сужающее устройство (рис. 6). При протекании измеряемого потока через отверстие этого устройства скорость потока увеличивается по сравнению со скоростью до сужения. Благодаря этому давление потока на выходе из сужающего устройства уменьшается и на нем создается перепад давления, который зависит от скорости в сужении, т.е. от расхода потока. Измеряемая среда протекает через отрезок трубопровода 1, в котором установлено сужающее устройство 2. Давление среды непосредственно перед сужающим устройством несколько возрастает ( $P_1$ ), затем после него падает ( $P_2$ ), далее достигает минимума и снова возрастает. Перепад давления на сужающем устройстве ( $\Delta P = P_1 - P_2$ ) измеряется дифманометром ДМ. Как видно, установившееся значение давления после сужающего устройства не достигает первоначального значения. Эта потеря давления  $dP$ , называемая безвозвратной потерей давления, связана с затратой части энергии потока на вихреобразование за сужающим устройством и на трение.

Выражения для объемного  $Q$  и массового  $G$  расходов среды, протекающей через сужающее устройство, имеют вид:

$$Q = \alpha \varepsilon \pi d^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{8\rho}} = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}};$$

$$G = \alpha \varepsilon \pi d^2 \sqrt{\frac{\rho \Delta P}{8}} = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{2\rho \Delta P},$$

где  $\alpha$  – коэффициент расхода;  $\varepsilon$  – поправочный множитель на расширение измеряемой среды

(для сжимаемых сред  $\varepsilon < 1$ , а для несжимаемых  $\varepsilon = 1$ );  $d$  – диаметр входного отверстия сужающего устройства;  $\Delta P = P_1 - P_2$  – разность давлений до и после сужающего устройства;  $\rho$  – плотность среды;  $F_0$  – площадь сечения входного отверстия сужающего устройства.

В дроссельных расходомерах в качестве сужающих устройств используются *диафрагмы, сопла, трубы Вентури* и различные их модификации. Характерной особенностью сопл и труб Вентури является меньшая, чем для диафрагм, безвозвратная потеря давления.

Принцип действия вихревых расходомеров основан на зависимости от расхода частоты колебаний давления, возникающих в потоке в процессе вихреобразования или колебания струи. Существует несколько разновидностей вихревых расходомеров, наиболее распространенными из которых являются расходомеры, имеющие в первичном преобразователе неподвижное тело, при обтекании которого с обеих его сторон попаременно возникают срывающиеся вихри, создающие пульсации давления.

В этом расходомере вихри образуются по причине того, что непосредственно за телом, находящимся в потоке, давление потока уменьшается, и пограничный слой, обтекающий тело, отрываясь от него, изменяет направление своего движения. Этот процесс происходит с обеих сторон тела. Но так как развитие вихря с одной стороны препятствует такому же развитию с другой стороны, то образование вихрей с двух сторон тела происходит поочередно. При этом за телом образуется так называемая вихревая дорожка Кармана. Частота срыва вихрей пропорциональна объемному расходу вещества.

Для тела цилиндрической формы, помещенного в потоке, связь частоты срыва вихрей  $f$  и объемного расхода  $Q$  устанавливается выражением

$$Q = \frac{Sd}{S_h} f.$$

где  $S$  – площадь наименьшего поперечного сечения потока вокруг цилиндра;  $d$  – диаметр цилиндра;  $S_h$  – число Струхала, характеризующее периодические процессы, связанные с движением жидкости или газа. Число Струхала постоянно в определенном диапазоне измерений расхода.

Для предлагаемого подхода организации управления на неконтролируемых участках вышеуказанные и существующие датчики давления не могут быть применены ввиду отсутствия решающих устройств. Поэтому необходим так называемый интеллектуальный датчик давления.

### Выводы

1. Необходим ввод дополнительного контроля на неконтролируемых участках газопроводов.

2. Для обеспечения питания датчиков расхода и давления и передачи телеметрической и общей связи (волоконно-оптические линии связи) предлагаются использовать гибридный кабель.

3. Необходимо разработать интеллектуальный датчик с функциями первичной обработки информации по давлению и расходу газа.

### ЛИТЕРАТУРА

- Блантер С.Г. Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 1980. 478 с.
- Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. М.: Эко-Трендз, 1998. 267 с.
- Орлов-Шульгин В.В. Согласование датчиков с машинами централизованного контроля. М., «Энергия», 1972

### Резюме

SCADA жүйесінің ТПБЖА темен дөрежесін модернизациялау ұсынылған. Ұсынылып отырган модернизация газқұбырының ТЭГ-тары арасындағы шептерде бакылау жүйесін кіргізуге негізделген. Датчиктердің шығыны мен қысымын жабдықтау үшін қоспа талшықтыоптикалық кабельді пайдалану ұсынылған.

### Summary

In article modernization of bottom level ASUTP of system SCADA is offered. The essence of offered modernization consists in input of the monitoring system on sites between TAGs of gas mains. For maintenance of a feed of gauges of the charge and pressure it is offered to use hybrid fiber-optical a cable.

КазНТУ им. К. И. Сатпаева,  
г. Алматы

Поступила 15.09.10г.