

Beniamin **ANTONCZYK**  
Leszek **NOWAK**

## ZMODERNIZOWANY SYSTEM STEROWANIA UKŁADEM WENTYLACJI

**Streszczenie.** W artykule opisano opracowany – zmodernizowany system sterowania układem wentylacji w wyrobie JBR-15M. Przedstawiono stan dotychczasowy układu z opisanymi wadami. Na schematach blokowych pokazano proponowane wersje rozwiązań. W podsumowaniu – wnioskach odniesiono się do uzyskanych efektów nowego rozwiązania.

**Słowa kluczowe:** system sterowania, układ wentylacji, jednostka radiolokacyjna JBR-15M.

### 1. WSTĘP

Przedmiotem niniejszego artykułu jest system sterowania układem wentylacji mobilnej stacji radiolokacyjnej JBR-15M. Z uwagi na trudne warunki pracy i szeroki zakres temperatury pracy stacji, jednym z istotnych systemów, zapewniającym poprawną pracę aparatury elektronicznej, jest układ wentylacji. Stacja jest zbudowana na czteroosiowym podwoziu TATRA 815. Na ramie umieszczona jest Kabina Nadawczo-Obróbkowa (KNO-15) zawierająca aparaturę elektroniczną i system sterowania wszystkich podzespołów stacji. Warunki pracy wyrobu odpowiadają wymaganiom określonym przez stronę odbierającą - Inspektorat Uzbrojenia Ministerstwa Obrony Narodowej. JBR-15M ma pracować w temperaturze od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+55^{\circ}\text{C}$ , przy wietrze do 30 m/s. Maksymalny poziom opadów w granicach 200 mm/h, wilgotność maks. 98% przy  $+25^{\circ}\text{C}$  [1].

Jednostka jest wyposażona w kompletny radar trójosiowy wraz z systemem antenowym umożliwiającym automatyczne wykrywanie i śledzenie do 120 obiektów na wysokości do 30 km. Radar pracuje w paśmie S, jest to fragment widma fal elektromagnetycznych w zakresie promieniowania mikrofalowego (2-4 GHz), który jest typowym dla 10-centymetrowych systemów radarowych (1,55 do 5,2 GHz).

Systemy sterowania mobilnej platformy zarządzają wszystkimi podzespołami zarówno elektrycznymi, jak i hydraulicznym, a całkowity czas przygotowania platformy do pracy wynosi 20 minut.

Na rys. 1 pokazany jest widok stacji JBR-15M z zaznaczonymi klapami i wlotami powietrza układu wentylacji.



**Rys. 1. Stacja radiolokacyjna JBR-15M z zaznaczonymi wlotami układu wentylacji**

## **2. SYSTEM STEROWANIA UKŁADEM WENTYLACJI**

W wyrobach serii JBR-15 istnieją dwie wersje systemów sterowania układem wentylacji. Każdy z systemów składa się z przekaźników, układów elektronicznych zamontowanych na obwodach drukowanych i elementów systemu automatyki zabudowanych w skrzynce sterowania ruchami klap (SRK), zamontowanej wewnątrz kabiny KNO-15. Na jej wyposażeniu znajduje się, w zależności od wersji, sterownik PLC i/lub zestaw przekaźników elektrycznych. Odpowiadają one za wymuszanie pracy siłowników elektrycznych poruszających kłapy zewnętrzne i kłapy wewnętrzne, zmieniając obieg powietrza chłodzącego. Poprawne działanie tego systemu jest niezbędne do zapewnienia odpowiednich warunków temperatury pracy wyposażenia elektronicznego składającego się na instalacje radarowe jednostki. Jednak w istniejących rozwiązaniach niewystarczająca była kontrola położenia klap, awarii, zacięć, a także sygnalizacja występujących uszkodzeń mechanizmów, na który wpływ miały warunki atmosferyczne. W celu rozwiązania problemu został zaprojektowany i wykonany zmodernizowany system sterowania układem wentylacji (zaimplementowany w skrzyni sterowania SRK), wyposażony w nowy układ sterowania, jak i nowe podzespoły elektryczne, a także nowe oprogramowanie sterujące całym systemem.

### **2.1. Identyfikacja problemów systemu sterowania**

Obecny system sterowania był poddany badaniom, które miały na celu identyfikację występujących problemów systemu sterowania.

Najważniejszym z wymogów był limit poboru prądu przez układ sterowania. Wartością graniczną jest 5A przy 24VDC, z których to w zależności od warunków temperaturowych, około 0,5A niezbędne jest do pracy sterownika programowalnego PLC (ang. Programmable Logic Controller). W przypadku poboru prądu wyższego niż 5A może dojść do uszkodzenia sterownika PLC lub do trwałego uszkodzenia silników siłowników liniowych.

Drugim, niezwykle istotnym wymogiem jest dokładne zamknięcie klap zewnętrznych (2 klapy górne i 2 klapy dolne - rys. 1), w celu uzyskania szczelności kabiny KNO-15 dla układu filtrowentylacji.

Pożądana jest również detekcja zacięcia klap. Szczególnie istotne jest wykrycie blokowania się klap w wyniku przymarznięcia klapy do uszczelki, co może wystąpić w przypadku zeszczenia stacji podczas pracy w obniżonej temperaturze otoczenia.

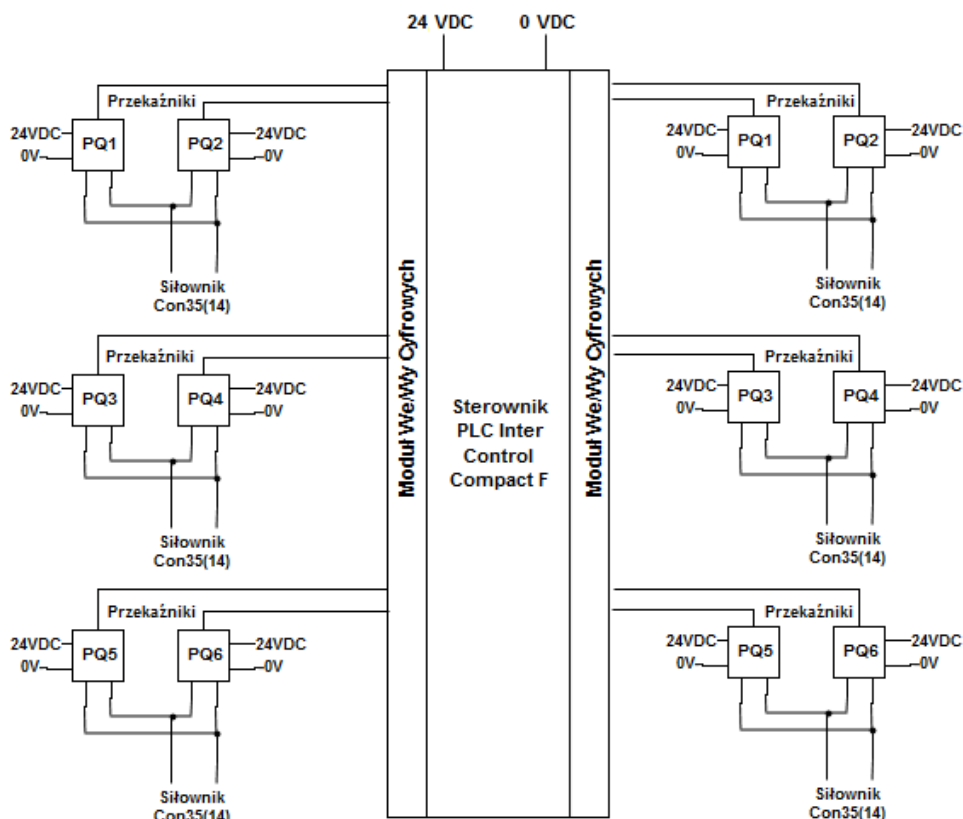
Wedle najważniejszych zaleceń klienta (odbiorcy stacji) nowy system sterowania powinien:

- być wykonany w oparciu o istniejący układ elektryczny i dotychczasowy schemat połączeń przyłączy elektrycznych;
- nie dopuszczać do przekraczania wartości dopuszczalnej poboru prądu;
- działać w sposób bezobsługowy;
- samoczynnie ponawiać otwieranie i zamykanie klap w przypadku ich blokowania się.

## 2.2. System sterowania – stan dotychczasowy

W stacjach JBR-15 w pierwszej serii produkcyjnej zastosowano prosty układ elektryczny oparty na dwuprzewodowej instalacji zasilającej do każdego z siłowników. Otwieranie bądź zamykanie klap odbywało się za pomocą przekaźnika czasowego, który zezwalał na pracę każdego z siłowników przez zadany czas. System ten jednak ulegał częstym awariom. Uszkodzeniom ulegały przekaźniki i siłowniki odpowiadające za ruchy klap układu wentylacji. System nie generował żadnych informacji o położeniu klap. Dotychczasowy układ elektryczny nie pozwalał także na uzyskanie większej ilości informacji o położeniu zewnętrznych klap. Klapy wewnętrzne posiadające dwa wspólne czujniki krańcowe umieszczone przeciwstawnie, gwarantowały poprawną pracę układu tylko w przypadku zapewnienia równomiernej - współbieżnej pracy obu siłowników, co było trudne do uzyskania.

Pojazdy JBR-15M po pierwszej modernizacji posiadały bardziej rozbudowany system sterowania zabudowany w skrzyni SRK. Był on już wyposażony w sterownik PLC Compact-F firmy INTER CONTROL [2], zarządzający pracą siłowników poprzez przekaźniki. Sterownik należy do grupy urządzeń przeznaczonych do zastosowań mobilnych. Posiada stopień ochrony IP66K i dolny zakres temperatury pracy  $-40^{\circ}\text{C}$ . Poglądowy schemat układu sterowania pokazany jest na rys. 2.



**Rys. 2. Układ sterowania - pierwsza modernizacja (schemat blokowy)**

Sterownik PLC w dotychczasowym układzie nie może bezpośrednio sterować siłownikami z uwagi na dopuszczalne obciążenie prądowe wyjść sterownika. W związku z tym wprowadzone zostały do układu przekaźniki pośrednie załączające siłowniki klap wentylacji. Dodatkowo w kabine KNO-15 wykonano złącza, które umożliwiły podłączenie czujników Hall'a, w jakie są wyposażone siłowniki elektryczne. Mimo tych zmian układ sterowania nadal nie działał poprawnie, dochodziło do uszkodzeń w napędzie siłowników, a także do uszkodzeń przekaźników spowodowanych zaciecieniem się siłownika w trakcie pracy, co w przypadku silników na prąd stały skutkuje pracą na zwarciu. Sporadycznie dochodziło także do uszkodzeń sterowników PLC. Wysoki pobór prądu około 4A dla każdego z siłowników podczas pracy w obniżonej temperaturze powodował ryzyko uszkodzeń układu elektrycznego napędu siłowników.

### 2.3. Propozycje modernizacji układu sterowania

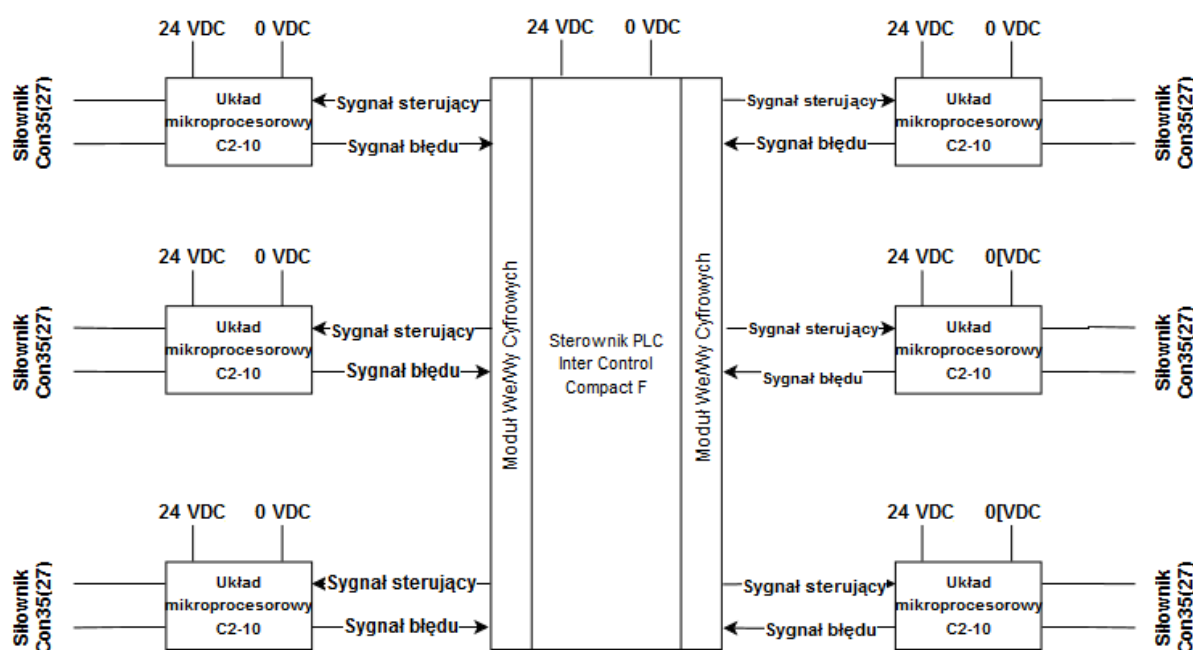
Prace nad zmodernizowanym systemem sterowania zaczęły się od intensywnych testów układu mechanicznego klap w celu lokalizacji problemów i możliwych źródeł usterek. Testy przeprowadzono dla następujących elementów systemu:

- sterownik programowalny Inter Control Compact-F [2];
- siłowniki liniowe Concens Con35(27) [3];
- mikroprocesorowe układy sterowania (płytką drukowaną z układem mikroprocesorowym) Concens C2-10 [4];
- mikroprocesorowe układy sterowania (płytką drukowaną z układem mikroprocesorowym) Electromen Oy LTD EM-241A-V1.5 [5].

Po wstępnych testach każdego z elementów w komorze klimatycznej, rozwijano równolegle trzy niezależne rozwiązania w celu obserwacji uzyskiwanych wyników.

Pierwsze z proponowanych rozwiązań [6] zakładało sterowanie układem wentylacji w oparciu o zegar systemowy sterownika PLC. Wymuszając inkrementacje bądź dekrementacje licznika odpowiadającego odpowiedniej klapie układu wentylacji, mamy informacje o względnym i orientacyjnym położeniu kłapy. Dodatkowo użyto układy Concens C2-10 [4] ograniczające pobór prądu i sygnalizujące błąd w przypadku przekroczenia ustawionego limitu. Dzieje się tak w chwili zablokowania ruchu kłapy, co wymusza pracę siłownika na zwarciu. Jednak opóźnienia powstające w układzie sterowania powodowały sumowanie się błędów położenia. Prowadziło to do niedokładnego zamknięcia kłap, co jest jednym z kluczowych wymogów potrzebnych dla uzyskania szczelności kabiny KNO-15. Testy przeprowadzono dla trzech różnych wartości zegara 10, 25 i 50ms. Najlepsze wyniki (klapy działały w sposób symetryczny dla ruchu otwarcia i zamknięcia, położenie kłapy wyliczone w sterowniku odpowiadało rzeczywistemu położeniu kłapy) uzyskano dla wartości 25 ms, na co mogła mieć wpływ częstotliwość taktowania układu mikroprocesorowego zabudowanego na płycie C2-10 [4].

Schemat blokowy tej wersji rozwiązania przedstawiono na rys. 3.

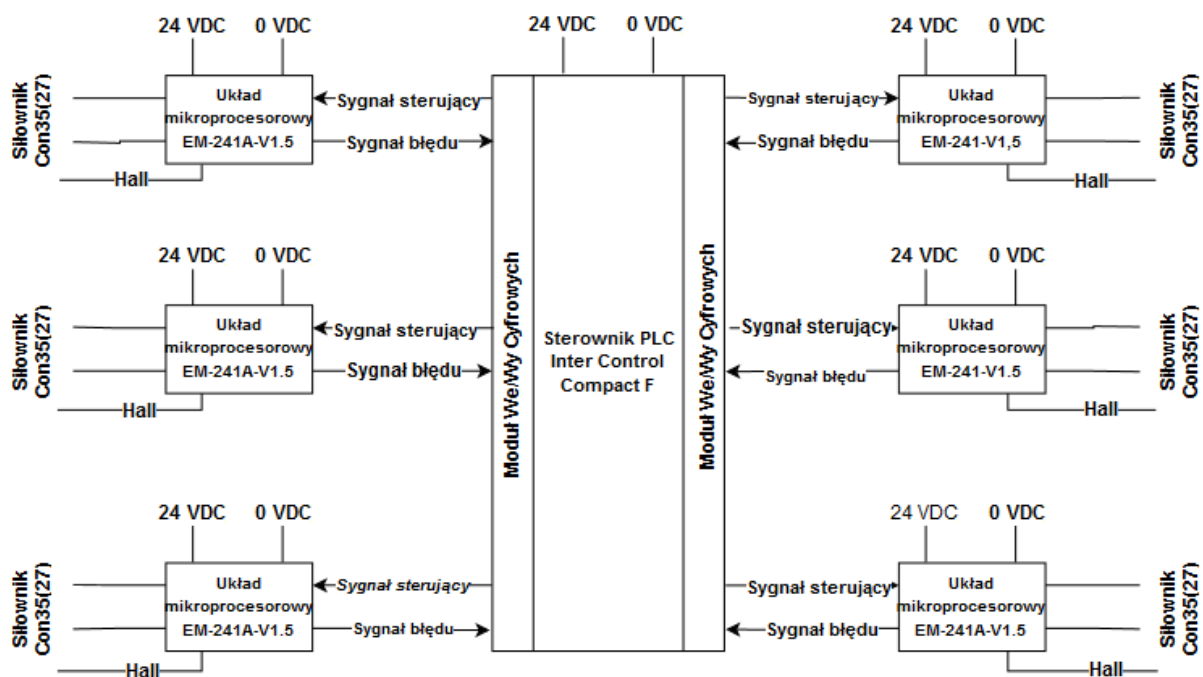


Rys. 3. Zmodernizowany układ sterowania – propozycja nr 1 (schemat blokowy)

Drugie z proponowanych rozwiązań było analogiczne do wariantu pierwszego (rys. 3), z dodatkowym wykorzystaniem sygnału błędu (praca na zwarciu) jako informacji o zamknięciu kłap zewnętrznych. System taki daje możliwość kalibracji położenia każdej z kłap w położeniu bazowym, za jakie możemy przyjąć zamknięcie wszystkich kłap zewnętrznych. Problemem powstającym w takim układzie jest możliwe zablokowanie układu kłap w trakcie zamykania, co może zostać błędnie zinterpretowane przez sterownik jako poprawna pozycja zamknięcia.

Trzecie z proponowanych rozwiązań zawiera w sobie przeróbki osłon siłowników klap zewnętrznych. Proponuje się umieścić układy Electromen EM-241A-V.5 [5] pod obudową siłownika każdej z klap zewnętrznych. Rozwiązanie takie umożliwi nawet w starych modelach stacji radiolokacyjnej użycie sygnałów z czujników Hall'a. System ten wykorzystywać będzie dwa odrębne systemy sterowania. Sterownik PLC i mikroprocesorowe układy sterowania wymieniają komunikaty o błędnej pracy siłownika lub informacje o zakończeniu procesu otwierania lub zamykania wszystkich klap. Układy EM-241A-V1.5 [5] realizuje sterowanie ruchem każdej z klap układu wentylacji, a sterownik PLC nadzoruje pracę tego układu, wymuszając sygnały sterowania w przypadku wykrycia awarii lub wystąpienia zacięć mechanicznych którejkolwiek z klap.

Schemat blokowy przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Zmodernizowany system sterowania - propozycja nr 3 (schemat blokowy)

#### 2.4. Zmodernizowany system sterowania wybrany przez stronę zamawiającą

W wyniku przeprowadzonej analizy zalet i wad każdego z wariantów, rozwiązanie numer trzy zostało wybrane jako spełniające postawione wymagania i zaakceptowane do realizacji na wyrobach JBR-15M w postaci zmodernizowanej skrzynki SRK. W skład zmodernizowanego systemu sterowania wchodzi obecnie sterownik INTER CONTROL Compact F [2], 6 układów mikroprocesorowych CONCENS C2-10 [4] i układ elektryczny dopasowania prądowego.

Widok zmodernizowanego układu sterowania zabudowanego w skrzynce SRK pokazano na rys. 5.





Rys. 5. Zmodernizowany układ sterowania zabudowany w skrzynce SRK

### 3. BADANIA ZMODERNIZOWANEGO SYSTEMU STEROWANIA

System sterowania został przebadany zgodnie z programem zawartym w Dzienniku Badań [7] opracowanym przez autorów niniejszego artykułu i zaakceptowanym przez klienta (stronę odbierającą). Wykonane badania obejmowały:

- sprawdzenie poprawności działania systemu sterowania SRK w temperaturze otoczenia;
- sprawdzenie poprawności działania siłowników liniowych z obciążeniem zastępczym;
- sprawdzenie odporności na wibracje;
- sprawdzenie odporności na zmienne warunki klimatyczne od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- sprawdzenie działania siłowników w obniżonej temperaturze otoczenia,  $-40^{\circ}\text{C}$ ;
- praktyczne sprawdzenie działania zmodernizowanego układu sterowania na wyrobie JBR-15M.

Zmodernizowany system sterowania układem wentylacji przeszedł pomyślnie testy i badania sprawdzające. Nowy system sterowania, którego widok rozłożenia podzespołów pokazuje rys. 5, został dopuszczony do produkcji seryjnej.

#### 4. WNIOSKI

Przyjęte rozwiązanie zapewnia spełnienie wymagań norm kompatybilności elektromagnetycznej platformy. Zmiany w dotychczasowym układzie połączeń wiązek elektrycznych mogą skutkować niespełnieniem powyższych wymogów.

Opracowane, przebadane i zaimplementowane rozwiązanie:

- poprawia współczynnik awarii systemu sterowania;
- podnosi bezpieczeństwo pracy układu;
- dzięki zastosowaniu szeregu zabezpieczeń (termistory, układy mikroprocesorowe, kontrola poboru prądu), zapewnia niską awaryjność mechaniczną i elektryczną;
- ułatwia kalibrację systemu sterowania;
- zapewnia detekcję błędów otwarcia klap i automatyzację ponownego ich otwarcia.

#### 5. LITERATURA

- [1] „Mobilny trójwspółrzędny radar obserwacyjny średniego zasięgu w paśmie S – TRS-15”, Broszura informacyjna, PIT S.A., 2010, <http://www.pitradwar.com/wp-content/uploads/2012/03/TRS-15-PL.pdf>. [dostęp: 20.09.2015].
- [2] „Control System for Mobile Applications”, PDF-Brochure, [http://www.intercontrol.de/fileadmin/page\\_content/downloads/produkt/Compact\\_EN.pdf](http://www.intercontrol.de/fileadmin/page_content/downloads/produkt/Compact_EN.pdf) [dostęp: 20.09.2015].
- [3] „Concens con35 Linear Ln-line Actuator”, Data Sheet, April 2014 ver. 5.0, <http://www.concens.com/sites/default/files/downloads/con35.pdf> [dostęp: 20.09.2015].
- [4] „Concens C2-10 Control and protection of electric actuators”, Data Sheet, April 2013 ver. 1.0, [http://www.concens.com/sites/default/files/downloads/c2-10-datasheet\\_web.pdf](http://www.concens.com/sites/default/files/downloads/c2-10-datasheet_web.pdf) [dostęp: 20.09.2015].
- [5] „Electromen EM-241A-V1.5”, Product pdf, August 2013, [http://electromen.com/files/3813/8260/8644/EN\\_em-241\\_1v5.pdf](http://electromen.com/files/3813/8260/8644/EN_em-241_1v5.pdf). [dostęp: 20.09.2015].
- [6] Al.-Dallal M., Hońka M., Jabbar M., Nowak L., Widera P., „JBR-15M Radar Station – Control system of air-conditioning system”, Industrial Project Report, Silesian University of Technology, Department of Automatic Control, Electronics and Computer Sciences, January 2015.
- [7] Antonczyk B., „Dziennik Badań Zmodernizowanej Skrzynki SRK”, OBRUM/RB/614/2015 (Materiały własne OBRUM Sp. z o.o. – niepublikowane), Gliwice, kwiecień 2015 r.

### MODERNIZED VENTILATION CONTROL SYSTEM

**Abstract.** The paper describes the modernized control system for ventilation system installed in the JBR-15M mobile radar station. Previous arrangement is presented along with its deficiencies. Proposed solution options are shown in block diagrams. The effects of the new solution are summarized in conclusions.

**Keywords:** control system, ventilation system, JBR-15M mobile radar station