

Раздел 2 СУДОВОЖДЕНИЕ, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 656.61.052

DOI: 10.34046/aumsuomt98/7

КРЕН СУДНА В АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПО КУРСУ

Н.В. Тришин, капитан дальнего плавания, старший преподаватель

В статье описана автоматизированная система управления движением судна с помощью крена с ПИД-регулятором. В среде Matlab в подсистеме моделирования динамических процессов Simulink для модели судна типа балкер промоделирована динамика движения судна при удержании его на курсе в условиях ветрового воздействия, с использованием крена в качестве сигнала управления, построены графические зависимости для траектории и изменения угла крена.

Ключевые слова: автоматизированная система управления движением судна, ПИД-регулятор, крен судна, математическая модель движения судна.

SHIP'S LIST IN COURSE KEEPING MOTION CONTROL AUTOMATION

N.V. Trishin

In the article the automated ship motion control system by list impact with PID-controller is described. In the Matlab medium in dynamic process modeling subsystem Simulink for bulker type ship mathematical model the dynamic of ship maneuvering during course-keeping with wind impact conditions using ship's list as control signal was simulated, diagrams for trajectory and change of angle of list plotted.

Keywords: automated ship motion control system, PID-controller, ship's list, ship maneuvering mathematical model.

Введение: Управление судном – это искусство изменения положения судна судоводителем во времени и пространстве по законам гидро- и аэродинамики путем регулирования соотношения между возмущающими и управляющими силами в сложившихся на момент управления условиями плавания, находящимися в распоряжении судоводителя средствами и способами управления. Проблема управления судном по курсу приобрела актуальность в связи с ростом размеров судов и скоростей их движения, увеличения стоимости судов и перевозимых ими грузов, увеличением количества судов и их эксплуатационных расходов. Решению этой проблемы посвящены работы многих исследователей [1, 2, 3, 4, 5].

Управляющим органом в системе автоматического управления курсом судна является авторулевой. Современные авторулевые, выпускаемые ведущими производителями навигационной аппаратуры, реализованы на электронной аппаратной базе, в том числе устройствах с программируемой логикой и микропроцессорах [5, 6], использование которых предоставляет разработчикам и операторам широкие возможности по управлению и настройке авторулевых.

В основе работы авторулевого лежит пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон управления [1]:

$$u(t) = K_C \left[K_P \varepsilon(t) + K_I \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + K_D \int \varepsilon(t) dt \right], \quad (1)$$

где $u(t)$ – сигнал управления; $\varepsilon(t)$ – сигнал ошибки; K_P – коэффициент пропорционального канала; K_D – коэффициент дифференциального канала; K_I – коэффициент интегрального канала; K_C – общий коэффициент усиления системы.

Такой подход был предложен еще в начале прошлого века Н. Минорски [7] и практически не претерпел изменений. Система автоматического управления движением судна на курсе с неадаптивным авторулевым, работающим по ПИД-закону, может быть представлена в виде структурной схемы, приведенной на рисунке 1. В схеме приняты следующие обозначения: X – задаваемый курс; Y – истинный курс; ε – ошибка в системе; K_P – коэффициент пропорционального канала; ψ – пропорциональная составляющая сигнала управления; K_D – коэффициент дифференциального канала; ω – дифференциальная составляющая сигнала управления; K_I – коэффициент интегрального канала; i – интегральная составляющая сигнала управления; K_C – общий коэффициент усиления системы; u – сигнал управления; δ – угол перекладки руля; PII – рулевой привод.

Система автоматического управления курсом судна с ПИД-регулятором является традиционной схемой управления курсом судна, используемой в авторулевых. При этом на многих судах еще используются неадаптивные авторулевые, в которых настройку параметров управления необ-

ходимо проводить вручную. Традиционно главным средством управления движением судна в основном эксплуатационном режиме является руль. Но при отказе рулевого устройства на данный момент для большинства судов мирового флота не имеется альтернативного способа автоматического управления движением при том, что

процесс движения судна на прямом курсе составляет 95% ходового времени. Если же судно может дать ход и способно создавать крен как необходимо для компенсации отклонений от заданного направления движения, то появляется возможность его доставки ближе к месту ремонта, либо навстречу буксирам.

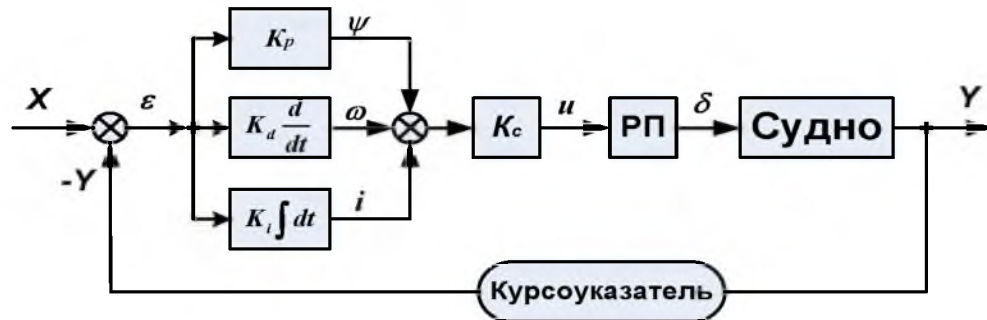


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления курсом судна с авторулевым на базе ПИД-закона управления

Цель работы: Разработка автоматизированной системы управления движением судна по курсу с помощью крена.

Основная часть: Будем рассматривать математическую модель судна типа балкер, описан-

ную в [8], и использовать крен как основное средство управления движением судна. В среде Matlab в подсистеме моделирования динамических процессов Simulink был произведен синтез математической модели, представленной на рисунке 2.

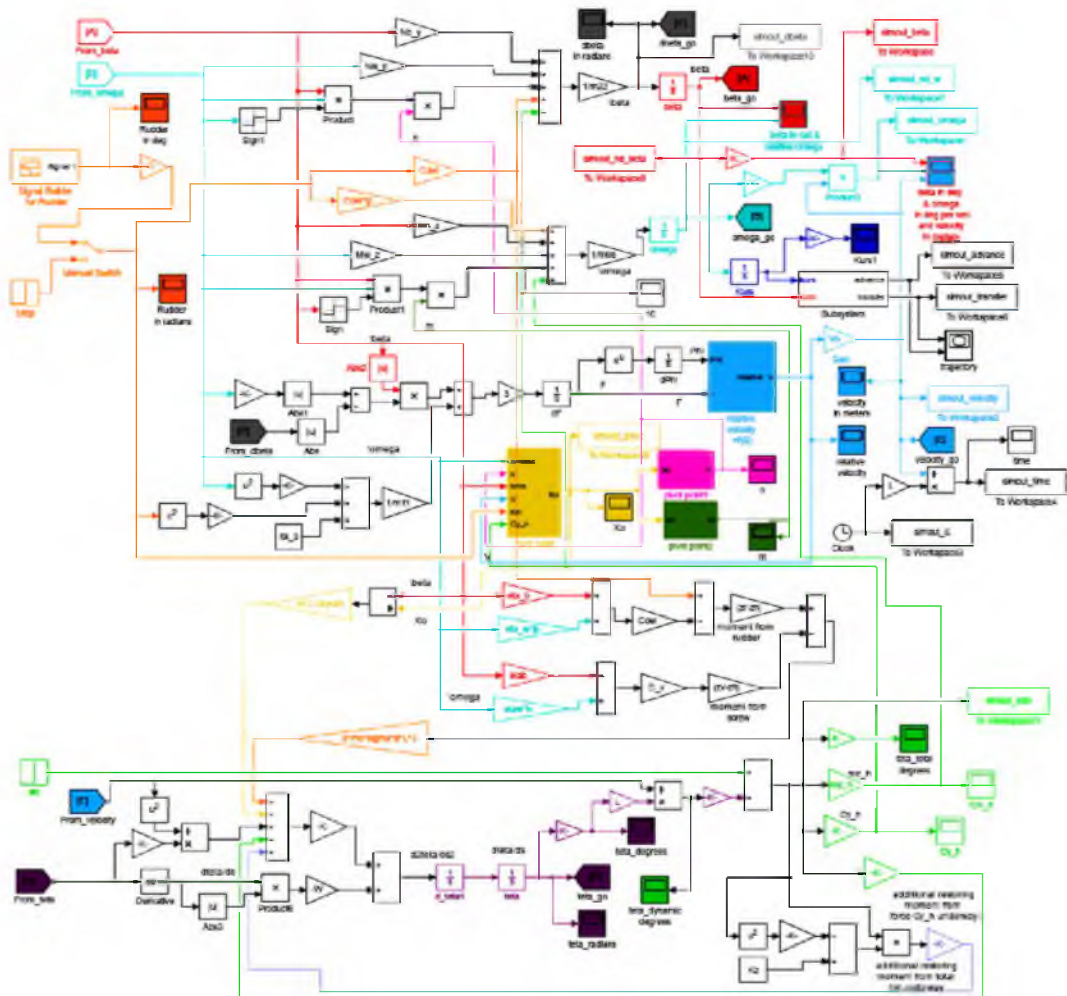


Рисунок 2 – Схема математической модели судна типа балкер

Это модель судна типа балкер длиной между перпендикулярами 174,0 м, шириной 29,0 м, осадкой вгрузу 10,8 м, водоизмещением 44400 т, коэффициентом общей полноты 0,817, с одним рулем, расположенным за рудерпостом, с гребным винтом фиксированного шага.

В настоящее время на многих судах устанавливают системы anti-heeling, использующиеся

для выравнивания крена судна в процессе погрузки/выгрузки. Теоретически такую систему можно использовать для создания определенного угла крена в целях управления движением судна. Для этого необходимо провести дополнительную трубу, соединяющую бортовые танки судна, и установить реверсивный насос, как показано на рисунке 3.

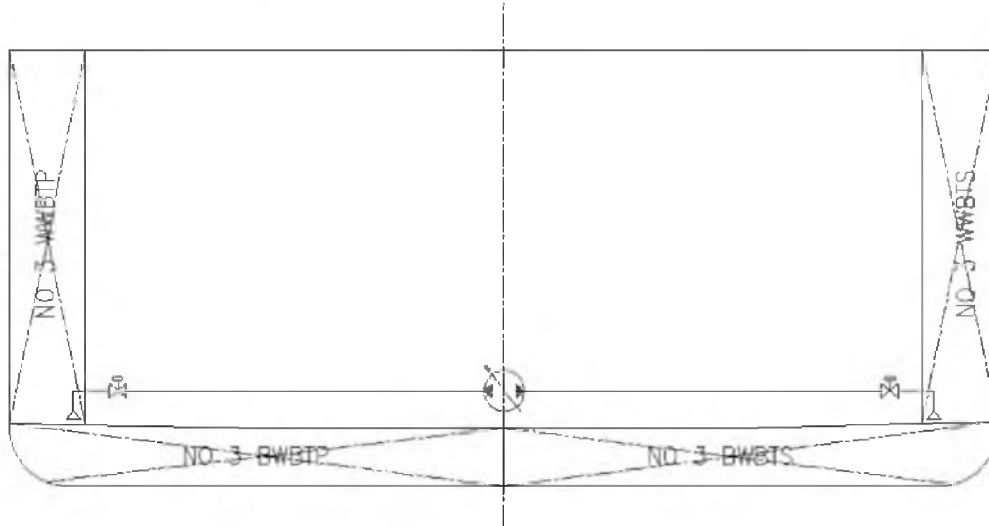


Рисунок 3 – Схема установки системы для создания угла отклонения

Ограничимся рассмотрением малых углов крена, не превышающих 15°, при которых применима метацентрическая формула поперечной остойчивости $\sin \theta = \theta$ и $\cos \theta = 1$. Необходимо также обговорить, что изменение моментов инерции вследствие перемещения подвижного балласта не учитываются. При использовании симметричных бортовых танков, как показано на рисунке 3, для создания момента отклонения, угол крена судна находим

$$\theta_{откр} = \frac{2m_{бал} \cdot y_T}{m_c \cdot h} \quad (2)$$

где y_T – ордината центра тяжести балластного танка; $m_{бал}$ – масса балласта; m_c – масса судна; h – метацентрическая высота.

Предположим, что для перекачки балласта будут использоваться пропеллерные реверсивные насосы с фирмы НорвеBordmesstechnik GmbH, марки АНР-300-2.0 BV-V, тип Н 300 – 2.0, переменной производительности $p_n = 700 \div 1400 \text{ м}^3/\text{час}$ [9]. Рассмотрим автоматизированную систему управления движением судна по курсу с помощью крена, рассчитанного по формуле (2), с описанными выше насосами АНР-300-2.0 BV-V, СПИД-регулятором стандартного типа, построенным по формуле (1), общая схема которой представлена на рисунке 4.

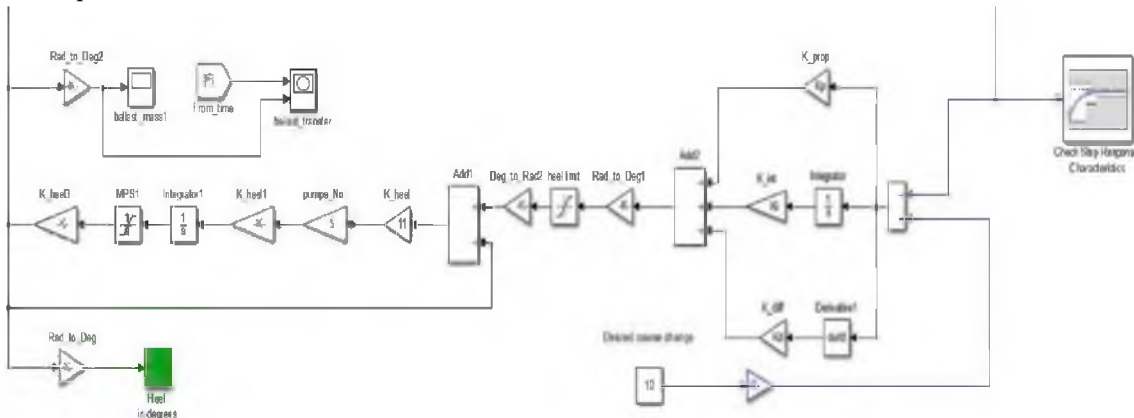


Рисунок 4 – Схема автоматизированной системы управления движением судна по курсу с помощью крена с ПИД-регулятором

Динамика движения судна типа балкер, при удержании его на курсе с использованием крена в качестве основного сигнала управления, в условиях ветрового воздействия в правый борт была смоделирована в среде Matlab в подсистеме моделирования динамических процессов Simulink. Результаты моделирования траектории движения и угла крена при скорости ветра 9 м/с представлены на рисунках 5 и 6.

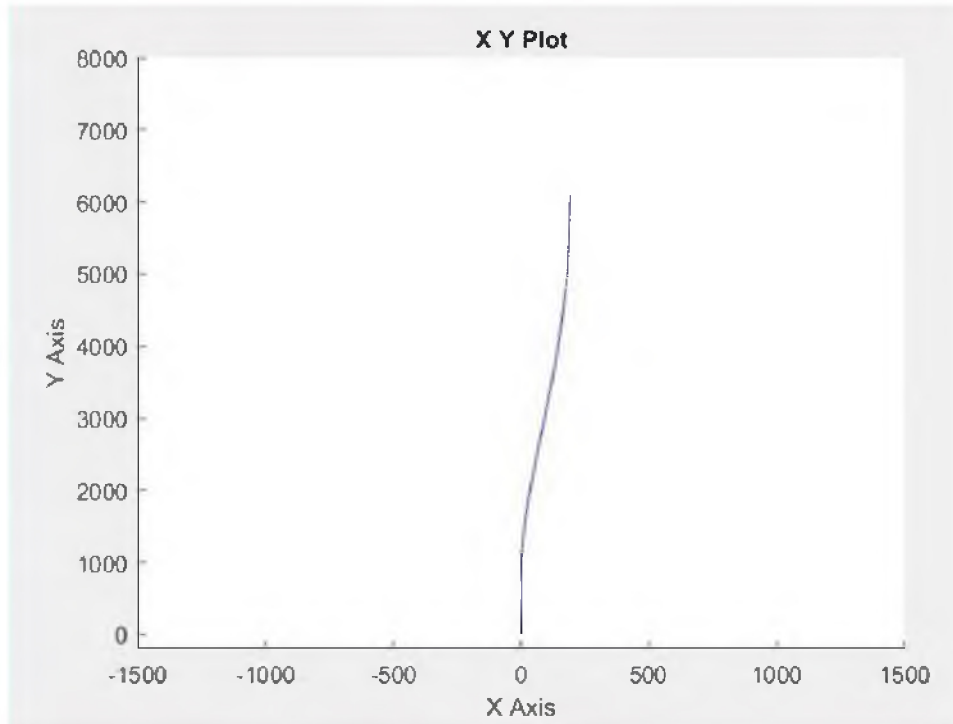


Рисунок 5 –Траектория движения судна, управляемого в режиме «автомат» с помощью крена, при стабилизации на курсе в условиях ветра скоростью 9 м/с

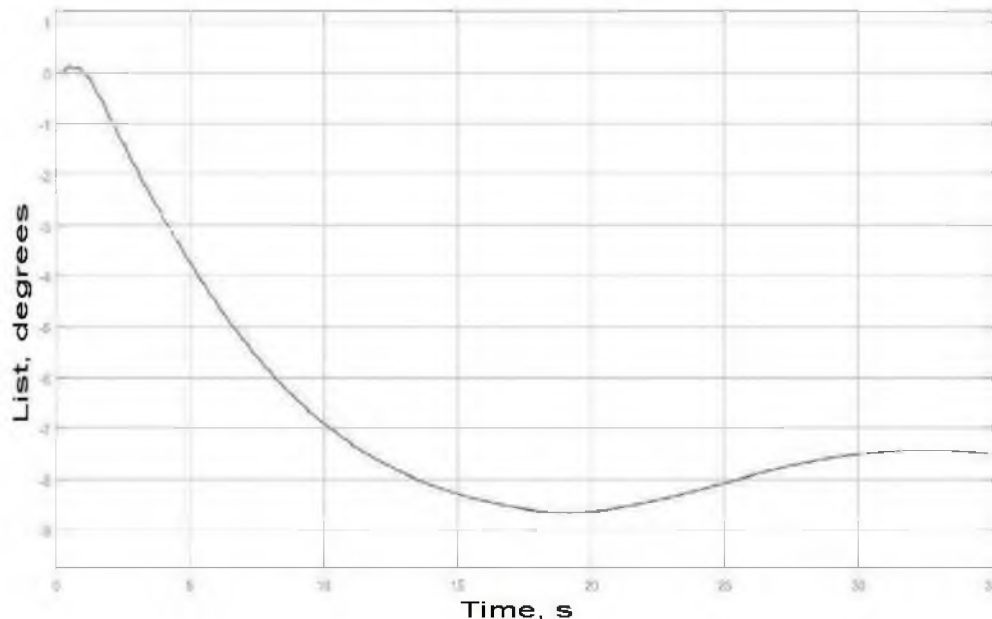


Рисунок 6 –График изменения угла крена от времени для судна, управляемого в режиме «автомат» с помощью крена, при стабилизации на курсе в условиях ветра скоростью 9 м/с

Вывод: Эксплуатация экономичных судов с высокими эксплуатационными качествами предусматривает высококачественную автоматизацию процесса движения судна на прямом курсе. Автором разработана система автоматического управления движением судна по курсу с помощью крена, с ПИД-регулятором. Работа данной

системы управления проверена на математической 4DOF-модели судна типа балкер при удержании судна на курсе в условиях ветрового воздействия. По результатам моделирования построены графические зависимости траектории движения и угла крена. Данная система управления может быть использована в качестве дублирующей.

в случае отказа основной системы управления, либо в случае отказа основного органа управления (например, в случае потери руля), так как для управления используется крен самого судна.

Литература

1. Березин С. А. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С. А. Березин, Б. А. Тетюев. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.
2. Соболев Г.В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. / Г.В. Соболев – Л.: Судостроение, 1976. – 477 с.
3. Мастушкин Ю.М. Управляемость промысловых судов. – Л.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 232 с.
4. Васильев А.В. Управляемость судов. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
5. Fossen T. I. Marine Control Systems. Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles – Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002 – 570 p.
6. Технические средства судовождения. Том 2. Конструкция и эксплуатация: Учеб. для вузов / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.К. Перфильев и др. – СПб.: Элмор, 2000. – 656 с.
7. Автопилот Минорского. Основы теории автоматического пилотирования и автопилоты: Пер. с английского / Под ред. Г.В. Щипанова. – М.–Л.: Оборонгиз, 1939. – с. 71 – 87.
8. Тришин Н.В. Формализация и синтез математической модели движения судна с учетом влияния крена / Тришин Н.В. // Эксплуатация морского транспорта.– 2017.– №4 (85).– С. 77-82.

9. Anti heeling system final documentation, Document No.: A-34235-00000-LF. –Hoppe Bordmesstechnik, GmbH, 2009 – 189 p.

References

1. Berezin S. A. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna po kursu/ S. A. Berezin, B. A. Tetyuev. – L.: Sudostroenie, 1990. – 256 s.
2. Sobolev G.V. Upravlyaemost' korablya i avtomatizaciya sudovozhdeniya. / G.V. Sobolev – L.: Sudostroenie, 1976. – 477 s.
3. Mastushkin YU.M. Upravlyaemost' promyslovyh sudov. – L.: Legkaya i pishhevaya promyshlennost', 1981. – 232 s.
4. Vasil'ev A.V. Upravlyaemost' sudov. – L.: Sudostroenie, 1989. – 328 s.
5. Fossen T. I. Marine Control Systems. Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles – Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002 – 570 p.
6. Tekhnicheskie sredstva sudovozhdeniya. Tom 2. Konstrukciya i ekspluatatsiya: Ucheb. dlya vuzov / E.L. Smirnov, A.V. Yalovenko, V.K. Perfil'ev i dr. – SPb.: Elmor, 2000. – 656 s.
7. Avtopilot Minorskogo. Osnovy teorii avtomaticheskogo pilotirovaniya i avtopiloty: Per. s anglijskogo/ Pod red. G.V. SHCHhipanova. – M.–L.: Oborongiz, 1939. – с. 71 – 87.
8. Trishin N.V. Formalizaciya i sintez matematicheskoy modeli dvizheniya sudna s uchedom vliyaniya krena / Trishin N.V. // Ekspluatatsiya morskogo transporta.– 2017.– №4 (85).– S. 77-82.
9. Anti heeling system final documentation, Document No.: A-34235-00000-LF. –Hoppe Bordmesstechnik, GmbH, 2009 – 189 p.

УДК 656.61

DOI: 10.34046/aumsuomt98/8

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОГО СЕГМЕНТА МОРСКОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ

А.Н. Попов, кандидат технических наук, доцент

В статье рассматривается возможность расчета вероятности события на основе байесовских сетей доверия. Аппарат байесовских сетей доверия позволяет объединить экспертные и статистические данные при анализе морской эргатической системы. В связи с тем, что ключевым элементом, влияющим на безопасность человеко-машинной системы является судоводитель, автор предлагает посмотреть на проблему «человеческого элемента» с учетом информационного подхода. Постоянный рост информационного обмена между оператором и навигационными данными вынуждает обратить внимание на информационный сегмент человеко-машинной системы. В качестве статистических данных представлены достоверные сведения морской катастрофы в районе порта Новороссийск. Экспертные данные получены в результате реконструкции катастрофы на навигационном тренажере.

Ключевые слова: байесовская сеть, смешанная реальность, информация, E-Навигация, человеко-машинная система, сценарий.

THE ANALYSIS OF THE INFORMATIVE SEGMENT OF MARITIME ERGATIC SYSTEM ON THE BAYESIAN NETWORKS BASIS

A.N. Popov

The article is dedicated to the study of possibility of the event probability on the Bayesian networks basis. The range of Bayesian networks makes it possible to unite both expert and statistics data during the analysis of the