

ӘОЖ 629.1.07  
МРНТИ 73.31.41  
DOI 10.56525/ZRQB9300

## АВТОКӨЛІК ҚҰРАЛДАРЫ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ КҮРДЕЛІ ЖҮЙЕСІНІҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ СЕНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Қуаныш Д.М., Табылов А.У.

Есенов университеті, Ақтау, Қазақстан  
e-mail: m.q.daur.01@mail.ru, e-mail: tabylov62@mail.ru

**Аңдатпа.** Автомобиль жасаудағы техникалық прогрестің дамуына байланысты автокөлік құралдарының сенімділігін арттыру мәселелері өзекті бола түсуде. Көлік жұмыстарының қажетті көлемдерінің минималды шығындармен орындалуын қамтамасыз ету мақсатында автокөлік құралдарын пайдалану тиімділігін арттыру қажеттілігі автомобильдердің пайдалану сенімділігін арттыру мәселелерін үнемі пысықтауды талап етеді. Тапсырманың күрделілігі-бұл автомобиль – бұл ең күрделі жүйе, оның функцияларын орындауды қамтамасыз ететін көптеген белсенді элементтердің-құрастыру бірліктері мен бөлшектерінің жиынтығын қамтиды. Мақалада күрделі жүйесі бар объект болып табылатын автокөлік элементтерінің функционалдық сенімділігі мен сенімділігін талдау негізінде автомобильдің сенімділігін арттыру әдісін ескере отырып, автокөлік құралының күрделі жүйесінің сенімділігін талдау кезінде ықтималдылықты бөлу теориясының заңдарын қолдану негізінде автомобильдің сенімділігін арттыру жолдары қарастырылады резервтеу арқылы жүйеде қосымша элементтердің болуымен құрылымдық резервтеуді көздейтін күрделі жүйенің сенімділігі талданады. функционалды түрде қажет. Автокөлік элементтерінің күрделі жүйесінің күрделі жүйесінің сенімділігін арттырудың негізгі әдістеріне салыстырмалы талдау жасалды. Элементтік және жалпы резервтеу күрделі жүйелердің сенімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік беретіні анықталды, бірақ олардың әр элементті қайталау кезінде дизайнды қиындататын бірқатар кемшіліктері бар, жүйеде оның жалпы сенімділігін төмендететін элементтер санын көбейтеді. Сондықтан сенімділікті арттыруға көбінесе брондау арқылы емес, бөлшектердің беріктігін арттыру және олардың тозуға төзімділігін жақсарту арқылы қол жеткізіледі. Автокөлік құралдарының күрделі жүйелерінің сенімділігін талдау кезінде мұндай шаралар ықтималдық теориясының заңдарын қолдануға негізделген.

**Түйін сөздер:** автомобильдің сенімділігі, автомобиль қозғалтқышының жүйесі, күрделі автомобиль жүйесінің сенімділігі, ықтималдылықты бөлу заңдары, автокөлікті брондау.

### Кіріспе.

Автокөліктің заманауи конструкциясы - бұл берілген функциялардың орындалуын қамтамасыз ететін көптеген бірлескен белсенді элементтерден (тораптардың агрегаттары, бөлшектер, механизмдер) тұратын күрделі жүйе.

Пайдалану процесінде автомобиль қоршаған ортамен өзара әрекеттеседі, ал оның элементтері өзара әрекеттеседі. Бұл өзара әрекеттесу үйкелісті, қыздыруды, бөлшектерді жүктеуді және т. б. нәтижесінде автомобиль элементтері бастапқы күйін өзгертеді. Элементтердің бұл күйі соншалықты өзгеруі мүмкін, сондықтан элемент берілген функцияларды орындай алмайды. Көлік жұмыстарының қажетті көлемдерінің минималды шығындармен орындалуын қамтамасыз ету мақсатында автокөлік құралдарын пайдалану тиімділігін арттыру қажеттілігі автомобильдердің пайдалану сенімділігін арттыру мәселелерін үнемі пысықтауды талап етеді [1].

Бұл жағдайда тапсырманың күрделілігі мынада - автомобиль - бұл ең күрделі жүйе, оның функцияларын орындауды қамтамасыз ететін көптеген белсенді элементтердің құрастыру бірліктері мен бөлшектерінің жиынтығын қамтидыю Қазіргі заманғы автомобиль 15-20 мың бөлшектен тұрады олардың 9-10 мыңы жұмыс кезінде бастапқы қасиеттерін жоғалтады, ал 3-4 мың бөліктің қызмет ету мерзімі жалпы автомобильге қарағанда аз және ерекше назар аударатын объектілер болып табылады.

### Зерттеу материалдары мен әдістері

Автомобиль механизмдердің сенімділігі мәселесі кез-келген салада бірінші орында тұр, өйткені механизмдерді минималды шығындармен пайдалану қажет. Сонымен қатар, мәселенің маңыздылығы-жаппай өндіріс. Автокөліктің сенімділігі қасиеттер кешенімен сипатталады (1-сурет). Автокөлік құралы күрделі жүйенің объектісі ретінде берілген функцияларды орындайды және оларды элементтерге бөлуге болады, олардың әрқайсысы белгілі бір функцияларды орындайды және басқа элементтермен өзара әрекеттеседі.



1-сурет-Автомобильдің сенімділігі туралы түсінік матрицасы

Автокөлік құралдарының элементтері әртүрлі шығыс параметрлеріне ие, оларды сенімділік тұрғысынан үш топқа бөлуге болады:

$X_1$ -параметрлері, олардың өзгеруі көрсеткіштердің белгіленген деңгейлерінен шығып, элемент пен жүйенің жұмыс қабілеттілігін жоғалтуға әкеледі;

$X_2$ -элементтің істен шығуын бағалау қиын болатын бүкіл жүйенің шығыс параметрлерін қалыптастыруға қатысатын параметрлер;

$X_3$ -жүйенің сыртқы жұмыс жағдайларының өзгеруіне ұқсас басқа элементтердің жұмысына әсер ететін параметрлер.

Шығу параметрлерінің ықтимал түрлерін талдау үшін екі элементтен тұратын автомобиль қозғалтқышының жүйесін құрылымдық схемамен ұсынуға болады (2-сурет)

қайда:

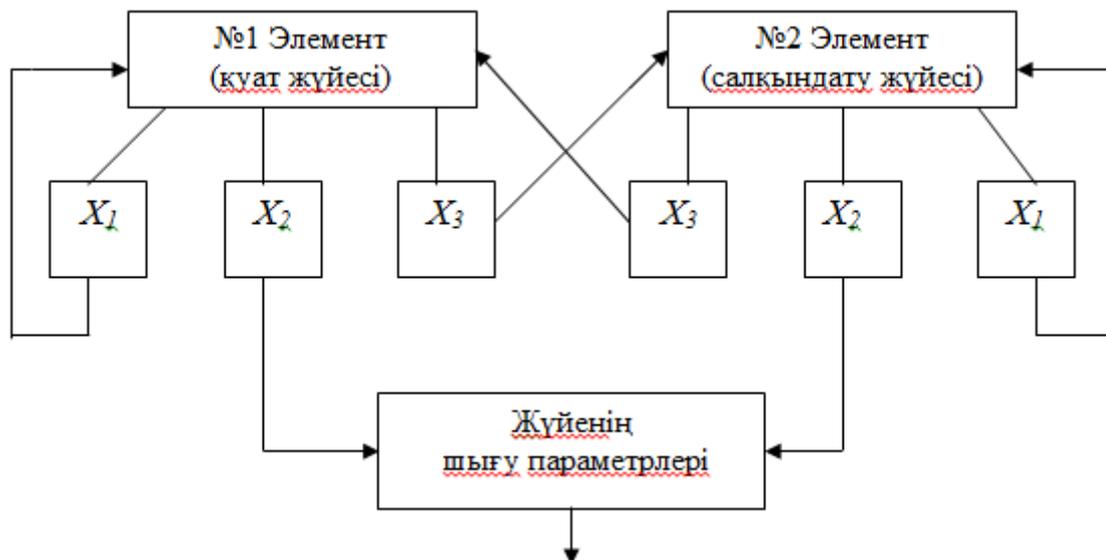
$X_1$ -бұл қуат жүйесіне арналған жанармай ағынының өткізу қабілеті (егер ағын бітеліп, жанармай кірмесе, онда қуат жүйесі істен шығады және қозғалтқыштың істен шығуы),

$X_2$ -бұл жанармай ағынының тозуы (автомобильдің жанармай тиімділігі нашарлайды),

$X_3$ -бай қоспасы қозғалтқыштың қызып кетуіне әкеледі және салқындату жүйесінің жұмысын қиындатады [2].

Сонымен қатар, салқындату жүйесінің қанағаттанарлықсыз жұмысы қозғалтқыштың қызып кетуіне және қуат жүйесінде бу тығындарының пайда болуына әкеледі-бұл №2 элемент үшін  $X_3$ , термостаттың нашар жұмысы қозғалтқышты жылытуды кешіктіреді, бұл автомобильдің жанармай үнемдеуінің төмендеуіне әкеледі-бұл  $X_2$ , белдіктің үзілуі салқындату жүйесінің істен шығуына және автомобильдің істен шығуына әкеледі-бұл элемент үшін  $X_1$  №2.

Нақты күрделі жүйелерде элементтерде шығыс параметрлерінің барлық үш түрі немесе одан аз болуы мүмкін (бір немесе екі). Бұл көбінесе жүйенің элементтерге бөліну дәрежесіне байланысты. Қарастырылған мысалда қуат жүйесі мен салқындату жүйесінің өзі күрделі жүйелер болып табылады.



**2-сурет** - Автомобиль қозғалтқыштың шығыс параметрлері түрлерінің құрылымдық диаграммасы

Автокөлік құралының күрделі жүйесінің сенімділігін талдау кезінде оның элементтерін топтарға бөлу керек:

- істен шығуы автомобильдің жұмысына іс жүзінде әсер етпейтін элементтер (ішкі қаптаманың зақымдануы, Қанаттың коррозиясы). Мұндай элементтердің істен шығуы әдетте жүйеден оқшауланған түрде қарастырылады;

- қарастырылып отырған уақыт ішінде немесе жұмыс кезінде өнімділігі іс жүзінде өзгермейтін элементтер (егін жинауға арналған автомобиль үшін беріліс қорабының күйінің өзгеруін ескеру мағынасы жоқ);

- жұмысқа қабілеттілігін қалпына келтіру айтарлықтай уақытты қажет етпейтін және іс жүзінде автомобиль тиімділігінің көрсеткіштерін төмендетпейтін элементтер (желдеткіш белдігінің керілуі);

- істен шығуы автомобильдің істен шығуына әкелетін және оның сенімділігін реттейтін элементтер.

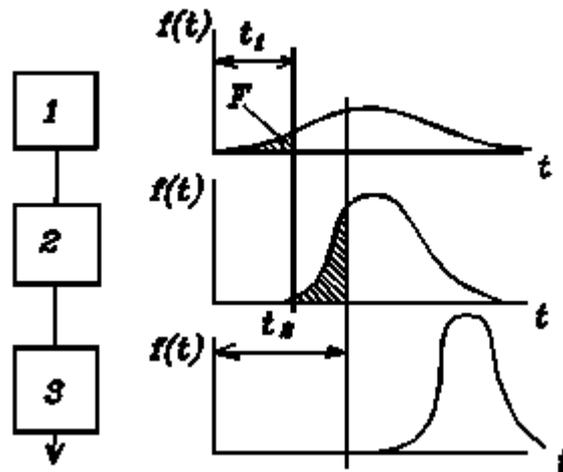
Күрделі жүйенің сенімділігіне әсер ету сипатына байланысты оның элементтерін тізбектей немесе параллель қосуға болады (гирляндағы шамдарды қосуға ұқсас). Бұл жағдайда жүйенің нақты құрылымдық схемасы құрылымдық ақаулық схемасымен ұсынылуы керек. Біз келесі элементтерден тұратын мойынтірек жинағының құрылымдық схемасын зерттейміз: 1 – Білік, 2 – мойынтірек, 3 – мойынтірек корпусы, 4 – мойынтірек қақпағын бекіту бұрандалары (4 дана), 5 – мойынтірек қақпағы. Егер элементтің істен шығуы жүйенің істен шығуына әкелсе, онда элемент тізбектей қосылады деп санауға болады. Егер элемент істен шыққан кезде жүйе жұмысын жалғастырса, онда элемент параллель қосылады. Осыған сәйкес мойынтірек жинағының құрылымдық схемасы 3 суретте көрсетілген [3,4].

Тізбектей енгізілген элементтерден тұратын күрделі жүйенің сенімділігі элементтердің жұмыс істеу ықтималдығының көбейтіндісімен анықталады:

$$R_0 = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdots R_n = \prod_{i=1}^n R_i. \quad (1)$$

Формуладан күрделі машина жоғары сенімділік элементтерінен тұрса да, оның құрылымында тізбектей жалғанған көптеген элементтердің болуына байланысты жалпы сенімділігі төмен екенін көруге болады.

Мысалы, жүйе бірдей сенімділігі бар 50 және элементтерден тұрады:  $R_i = 0,99$ , онда  $R_o = 0,99^{50} = 0,55$ .

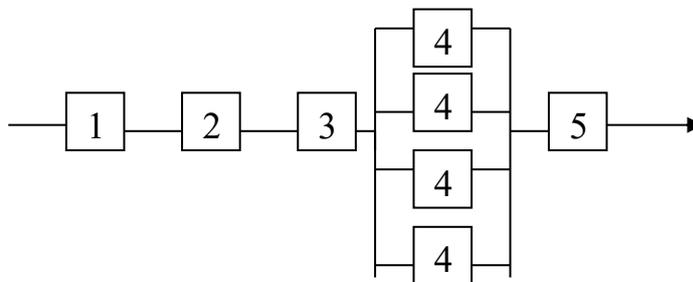


**3-сурет-** Мойынтірек жинағының элементті параллель қосатын жүйе жұмыс істеген жағдайда құрылымдық схемасы

**Зерттеу нәтижелері**

Мойынтірек түйінінің құрылымдық схемасын талдау элементтерді дәйекті түрде қосу кезінде олардың ұлғаюы күрделі жүйенің сенімділігінің төмендеуіне әкелетінін көрсетті.

Нақты элементтер үшін сенімділік олардың жұмысына байланысты өзгермелі шама болып табылады, оны ықтималдықтың таралу заңымен көрсетуге болады. 4 суретте қатарынан енгізілген үш элементтің ықтималдықты бөлу заңдарының графиктерін көрсетеді.



**4-сурет-** Қатарынан енгізілген үш элемент үшін ықтималдықтың таралу заңдарының графиктері

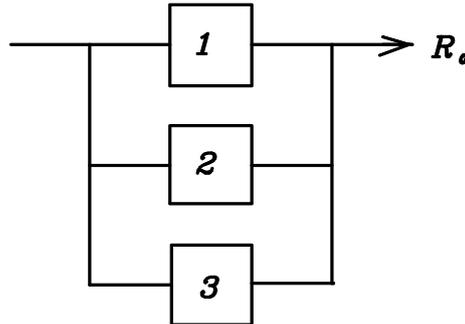
Кестеден шығатыны,  $t_1$  жұмыс істеген кезде бірінші элемент істен шығудың ең үлкен ықтималдығына  $F_1(t) = \int_0^t f(t)dt$  ие болады, алайда жұмыс көлеміне дейін ұлғайған кезде екінші элементтің істен шығу ықтималдығы едәуір артуы мүмкін. Жұмыстың қарастырылған мәндеріндегі үшінші элемент іс жүзінде сәтсіз болып қалады. Осылайша, тізбектелген элементтерден тұратын жүйенің сенімділігін арттыру үшін ең алдымен "әлсіз" элементтердің сенімділігін арттыру керек. Жүйенің барлық элементтерінің орташа ресурсын бірдей ұлғайту мүмкін емес.

Элементтерді параллель қосқанда (сурет.5) күрделі жүйе барлық элементтер істен шыққан кезде  $m$  ғана істен шығады, бұл оқиғаның ықтималдығы  $F_o = F_1 \cdot F_2 \cdots F_m$ .

Күрделі жүйенің сенімділігі өрнек арқылы анықталады :

$$R_o = 1 - \prod_{i=1}^m F_i, \text{ или } R_o = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - R_i). \quad (2)$$

Мысалы, үш элементтен тұратын жүйе үшін 0,9 сенімділікпен жалпы сенімділік  $R_o = 1 - (1 - 0,9)^3 = 0,999$  Осылайша, параллель қосылған элементтер санының артуы күрделі жүйенің сенімділігін арттырады.



**5-сурет**-Элементтерді параллель қосқанда ықтималдықтың таралу заңдарының графиктері

Жүйеде функционалды қажет емес қосымша элементтердің болуын болжайтын құрылымдық артықшылықты көздейтін резервтеу арқылы автомобильдің сенімділігін арттыру әдісімен күрделі жүйенің сенімділігін талдаймыз (автомобильде екеуінің функционалды жеткіліктілігі кезінде төрт доңғалақты тежегіш механизмдерінің болуы).

Күрделі жүйенің жекелеген элементтерін резервтеуді ескере отырып, элементтік резервтеу кезінде күрделі жүйенің сенімділігі формула бойынша анықталады:

$$R_o = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \prod_{j=1}^m (1 - R_{ij}) \right] \quad (3)$$

Мысалы:  $R_{ij} = 0,9$   $n = 4$ ,  $m = 3$  элементтік резервтеу кезінде күрделі жүйенің сенімділігі жасайды:

$$R_o = (1 - 0,1^3)^4 = 0,996$$

яғни, жүйенің істен шығуын 1000-нан 4 жағдайда күтуге болады.

Жалпы резервтеу кезінде күрделі жүйенің ақаулығы күрделі жүйенің элементі оны ауыстыру шартымен істен шыққан жағдайда элементтердің бүкіл тізбегін резервтеумен бірдей резервтік жүйе формула бойынша анықталады:

$$R_o = 1 - \prod_{j=1}^m \left( 1 - \prod_{i=1}^n R_{ij} \right) \quad (4)$$

Сол мысал үшін  $R_{ij} = 0,9$   $n = 4$ ,  $m = 3$  жалпы резервтеу кезінде жүйенің сенімділігі жасайды:

$$R_o = 1 - (1 - 0,9^4)^3 = 0,958$$

яғни, жүйенің істен шығуын 1000-нан 42 жағдайда күтуге болады.

### **Қорытынды.**

Осылайша, күрделі жүйенің сенімділігін зерттеу және талдау көрсеткендей, резервтеу арқылы автомобильдің сенімділігін арттыру әдісімен элементтік резервтеу күрделі жүйенің жоғары сенімділігін береді, бірақ механикалық құрылғылар үшін бұл резервтеу әдісін енгізу іс жүзінде мүмкін емес (резервтік элементтерді қосу үшін арнайы құрылғылар қажет болады, яғни жаңа элементтер және жүйе басқаша болады).

Механикалық құрылғыларға арналған жалпы резервтеу неғұрлым қолайлы (автомобиль дизайны көп тізбекті Тежегіш жүйесін қолданады), бірақ бұл жағдайда резервтеу күрделі жүйенің тізбегіндегі элементтер санының өсуімен бірге жүреді. Жүйедегі элементтер санының өсуі оның сенімділігінің төмендеуіне әкеледі, ал элементтер саны мен резервтік тізбектер санының белгілі бір арақатынасында жүйенің сенімділігі артып қана қоймай, азаюы мүмкін.

Автокөліктің сенімділігін арттыру үшін олар көбінесе автомобильдердің күрделі жүйесінің сенімділігін талдау кезінде ықтималдылықты бөлу теориясының заңдарын қолдану негізінде бөлшектердің беріктігін арттыруға немесе олардың тозуға төзімділігін арттыруға жүгінеді.

### **ӘДЕБИЕТТЕР**

1. Калимуллин, Р.Ф. Методика оценки режимов работы автомобильного двигателя по критерию износостойкости подшипников коленчатого вала/Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко, И.В. Тюняев, С.Б. Цибизов//Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – № 1(69). – С. 216 – 222.
2. Шейнин А. М., Шейнин В. А. Алгоритмы и программы решения оптимальных задач надежности машин. -М.: МАДИ, 2001. - 113 с.
3. Прочность и долговечность автомобиля/Б. В. Гольд, Е. П. Оболенский, Ю. Г. Стефанович и др. - М.: Машиностроение, 2004.
4. Лукинский В. С., Зайцев Е. И. Прогнозирование показателей надежности агрегатов трансмиссии. - В сб. Надежность и долговечность машин и сооружений. - Киев: Наукова думка, 2004. Вып. 5, - С. 27-32.

## **ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Куаныш Д.М., Табылов А.У.**

Университет Есенова, Актау, Казахстан  
e-mail: m.q.daur.01@mail.ru, e-mail: tabylov62@mail.ru

**Аннотация.** В связи с развитием технического прогресса в автомобилестроении все более актуальными становятся вопросы повышения надежности автотранспортных средств. Потребность повышения эффективности эксплуатации автотранспортных средств в целях обеспечения выполнения необходимых объемов транспортных работ с минимальными затратами требует постоянной проработки вопросов по повышению эксплуатационной надежности автомобилей. Сложность задачи при этом заключается в том, что автомобиль является сложнейшей системой, включающей совокупность множеств действующих элементов – сборочных единиц и деталей, обеспечивающих выполнение ее функций. В статье на основе анализа функциональной надежности и безотказности элементов автотранспортного средства, представляющего собою объект со сложной системой,

рассматриваются пути повышения безотказности автомобиля на основе использования законов теории распределения вероятностей при анализе надежности сложной системы автотранспортного средства. С учетом метода повышения надежности автомобиля резервированием проанализирована безотказность сложной системы, предусматривающая структурную избыточность с наличием в системе дополнительных элементов, не являющихся функционально необходимыми. Выполнен сравнительный анализ основных методов повышения надёжности сложной системы элементов автотранспортных средств. Установлено, что поэлементное и общее резервирование позволяет значительно повысить надежность сложных систем, однако они имеют ряд недостатков, усложняющих конструкцию при дублировании каждого элемента, увеличивают число элементов в системе, снижающих её общую надежность соответственно. Поэтому повышение надежности чаще достигается не за счёт резервирований, а путём увеличения прочности деталей и улучшения их износостойкости. При анализе надежности сложных систем автотранспортных средств такие меры базируются на использовании законов теории вероятностей.

**Ключевые слова:** надежность автомобиля, система автомобильного двигателя, безотказность сложной системы автомобиля, законы распределения вероятностей, резервирование автомобиля.

## ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL RELIABILITY OF A COMPLEX SYSTEM OF VEHICLE ELEMENTS

**Kuanysh D.M., Tabylov A.**

Yesenov University, Aktau, Kazakhstan

e-mail: m.q.daur.01@mail.ru, e-mail: tabylov62@mail.ru

**Abstract.** Due to the development of technological progress in the automotive industry, the issue of increasing the reliability of motor vehicles is becoming increasingly relevant. The need to improve the efficiency of vehicle operation in order to ensure the necessary volume of transportation work at minimal cost requires constant attention to improving the operational reliability of vehicles. The complexity of this task lies in the fact that a vehicle is a complex system that consists of multiple components and parts that work together to perform its functions. Based on the analysis of the functional reliability and unreliability of vehicle components, which is an object with a complex system, the article discusses ways to increase the vehicle's unreliability by using the laws of probability distribution theory in the analysis of the reliability of a complex vehicle system. Taking into account the method of increasing the reliability of a vehicle by redundancy, the reliability of a complex system has been analyzed, which involves structural redundancy with the presence of additional elements in the system that are not functionally necessary. A comparative analysis of the main methods for increasing the reliability of a complex system of vehicle components has been performed. It has been established that element-by-element and overall redundancy can significantly increase the reliability of complex systems, but they have several disadvantages that complicate the design by duplicating each element and increasing the number of elements in the system, which reduces its overall reliability. Therefore, increasing reliability is often achieved not by means of reservations, but by increasing the strength of parts and improving their wear resistance. When analyzing the reliability of complex vehicle systems, such measures are based on the use of probability theory laws.

**Keywords:** vehicle reliability, vehicle engine system, complex vehicle system reliability, probability distribution laws, vehicle reservation.