

AUTOMATED CALCULATION OF PRESSURE LOSSES IN VOLUMETRIC HYDRAULIC DRIVE

I.M. Murseev, Y.I. Privalova

Abstract. Computer aided design is the process by which all or part of the design solutions obtained using computer technology. One of the main model of computer aided design problems is to calculate or univariate analysis. This paper describes how the authors developed the software package "The Calculation of pressure losses in the hydraulic lines of the hydraulic drive of volumetric" in the programming environment Visual Basic. On the basis of the implemented application improves a number of works on calculation and design of a volumetric hydraulic actuator, and the computational experiment based on real technical data.

Keywords: volumetric hydraulic actuator, automated calculation, computer aided design, programming environment Visual Basic.

References

1. Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Basics of computer-aided design]. Moscow, MGTU im. N.Je. Baumana, 2006. 448 p.
2. Andreev L.N., Bortyakov D.E., Meshheryakov S.V. *Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Computer-Aided Engineering Systems]. St. Petersburg, Izd-vo SPbGTU, 2002. 78 p.
3. Dementiev Y.V., Shchetinin Y.S. *SAPR v avtomobile- i traktorostroenii* [CAD system in the motorcar and tractor building]. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 224 p.
4. Galdin N.S. *Gidravlicheskie mashiny, ob'emnyy gidroprivod* [Hydraulic machines, hydraulic volume]. Omsk: SibADI, 2014. 272 p.

5. Galdin N.S. *Mnogocelevye gidroudarnye rabochie organy dorozhno – stroitel'nyh mashin* [Multi-purpose working bodies of hydraulic road -building machines]. Omsk; Izd-vo SibADI, 2005. 223 p.

6. Galdin N.S. *Jelementy obemnyh gidroprivodov mobil'nyh mashin. Spravochnye materialy: uch. posobie* [Elements of volume hydraulic actuators of mobile cars. Reference materials]. Omsk: Izd-vo SibADI, 2005. 127 p.

7. Dobrovol'skij V.A. *Detali mashin* [Details of cars]. Moscow, Mashgiz, 1959. 581 p.

8. Available at: URL: <http://www.urb2-5a.ru/gidrobur2>.

Мурсеев Ильдар Мухамедович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и гидропривод» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: murseevoms@mail.ru).

Привалова Юлия Ивановна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: priv7777@mail.ru).

Murseev I.M. (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor Hoisting-and-transport cars and a hydraulic actuator of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080 Omsk, Mira Ave. 5, e-mail: remizovich_uv@sibadi.org).

Privalova Yu.I. (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor Information technology of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080 Omsk, Mira Ave. 5, e-mail: priv7777@mail.ru).

УДК 629.084

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ УПЛОТНЯЕМОЙ УПРУГО ВЯЗКОЙ ПЛАСТИЧНОЙ СРЕДЫ

С.В. Савельев¹, В.В. Михеев², А.С. Белодед¹

¹ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск;

²Омский государственный технический университет (ОмГТУ), Россия, г. Омск.

Аннотация. Статья посвящена исследованиям процесса динамического деформирования уплотняемой грунтовой среды. Предлагается оригинальный подход к моделированию данного процесса. Уплотняемая среда рассматривается в виде упруговязкопластичного тела, деформируемого внешней периодической силой. В качестве элементов характеризующих реологические свойства такой среды, выбраны элементы: Гука, Ньютона и Сен-Венана. Модель позволяет исследовать напряженно-деформируемое состояние среды в процессе деформирования по всей толщине уплотняемого слоя. Реализация предложенного модельного подхода позволяет повысить энергоэффективность процесса уплотнения, выбрать рациональные режимы протекания данного процесса и параметры уплотнителя.

Ключевые слова: деформация, уплотнение, среда, исследования, процесс.

Введение

Описание деформационных процессов, в том числе и процесса уплотнения различных сред описываемых упруго вязко пластичными свойствами, является достаточно сложной задачей. Изменение напряжений и деформаций в среде, вследствие приложения к ней внешних сил, приводит к изменению её физико-механических свойств.

Среду, в процессе её уплотнения, можно представить в виде элементарного упруго вязко пластичного столба [1, 2, 3].

$$\sigma_{el} + \sigma_{pl} + \sigma_v = (F_o \sin \omega t + F_{cm}) / S, \quad (1)$$

где σ_{el} – напряжения, обусловленные упругими деформациями, Па (реологическая модель Гука); σ_{pl} – напряжения, обусловленные пластическими деформациями, Па (реологическая модель Сен-Венана); σ_v – напряжения, обусловленные вязким сопротивлением деформированию, Па (реологическая модель Ньютона); F_o – амплитуда внешней периодической силы, Н; $F_{ct} = Mg$ – сила тяжести рабочего органа, Н; ω – частота колебаний, c^{-1} ; S – площадь пятна контакта, m^2 .

$$\sigma_{el} = E_y \frac{\Delta x}{h_0}, \quad (2)$$

где E_y – модуль упругости среды, Па; h_0 – начальная толщина среды, м; Δx – величина смещения среды относительно недеформированного состояния.

В качестве координат смещения среды можно выбирать текущее положение сосредоточенной массы среды, однако в нашем случае, более удобной является величина смещения среды относительно недеформированного состояния $\Delta x = x - x_0$, где x_0 – координата несмещённой сосредоточенной массы.

$$\sigma_{pl} = \Theta(\sigma - \sigma_m) \frac{\Delta x}{h_0}, \quad (3)$$

где Θ – функция Хевисайда, $\Theta(x) = (\text{sign}x + 1) / 2$; σ – напряжения, возникающие в грунтовой среде от внешних сил, Па; σ_m – напряжения предела текучести среды, Па.

$$\sigma_v = \eta \frac{d\Delta \dot{x}}{dx}, \quad (4)$$

где η – вязкость среды, Hc/m^2 .

Реологическое уравнение движения упруго вязкой пластичной среды (1) запишется в виде

$$E_y \frac{\Delta x}{h_0} + \Theta(\sigma - \sigma_m) \frac{\Delta x}{h_0} + \eta \frac{d\Delta \dot{x}}{dx} = (F_o \sin \omega t + F_{cm}) / S. \quad (5)$$

Для осуществления процесса динамического уплотнения на данную среду должна действовать внешняя сила, которая приводит к созданию напряжённо-деформируемого состояния (далее НДС) среды и накоплению в ней необратимых деформаций. Задача интенсификации процесса уплотнения требует принятия определённых допущений, которые без существенного изменения точности итоговых результатов позволяют проводить исследования процесса динамического деформирования среды [1].

1. Среда – это элементарный столб сосредоточенной в материальной точке массы, на которую наложены упругие и вязкие связи. Процесс виброуплотнения сводится к одномерным колебаниям данной точки, при этом характер движения рабочего органа, далее РО, известен. Показатели вязкости и жёсткости среды постоянны в течение одного цикла движения РО. Параметры движения РО выбираются из условия максимального снижения вязкого сопротивления деформированию среды.

2. Помимо сил вязкого и упругого сопротивления на среду действуют силы пластического сопротивления деформированию. Процесс виброуплотнения должен сводиться к созданию направленного движения рассматриваемой точки. Параметры движения РО должны обеспечивать максимальную скорость направленного движения точки сосредоточенной массы.

3. Рабочий орган – плоскость, совершающая гармонические колебания, допускающие представление в виде ряда Фурье. Движение среды описывается дифференциальными уравнениями, полученными из второго закона Ньютона.

4. Описание движения колебательной системы «рабочий орган - деформируемая среда» строится на основании формализма Лагранжа, диссипативная функция основания на котором расположена уплотняемая среда, не учитывается.

5. Распределение деформаций и напряжений внутри среды учитывается её представлением в виде системы материальных точек с сосредоточенными

массами, связанными между собой упруго вязко пластичными связями линейного и нелинейного характера. Процесс виброуплотнения состоит в уменьшении вибрационной вязкости системы в целом и создании направленного движения центра масс системы с максимальной скоростью.

Описание задачи

Исходя из этих допущений, рассмотрим элементарный столб уплотняемой среды, определённого объёма и массы, на который действует внешняя периодическая сила $F_0 \sin(\omega t)$ (рис. 1.). Действие периодической вынуждающей силы вибровозбудителя с частотой ω на деформируемую среду запишем в виде дифференциального уравнения движения массы среды [2, 3, 4]:

$$\rho V \Delta \ddot{x} + b_2 \Delta \dot{x} + c_2 \Delta x = F_0 \sin \omega t + F_{cm}, \quad (6)$$

где Δx – деформация среды, м; $m = \rho V$ – приведенная масса среды, кг; ρ – плотность деформируемой среды, кг/м³; V – объём деформируемого столба среды, м³; $F_{ct} = Mg$ – сила тяжести РО, Н; c_2 – жёсткость деформируемого столба среды, Н/м; b_2 – коэффициент вязкого трения деформируемого объёма, Нс/м.

$$b_2 = \frac{\eta S}{h_0}, \quad (7)$$

где η – вязкость деформируемой среды, Нс/м²; h_0 – толщина уплотняемого слоя среды, м; S – площадь пятна контакта, м².

$$c_2 = \frac{ES}{h_0}, \quad (8)$$

где E – модуль деформации среды, Па;

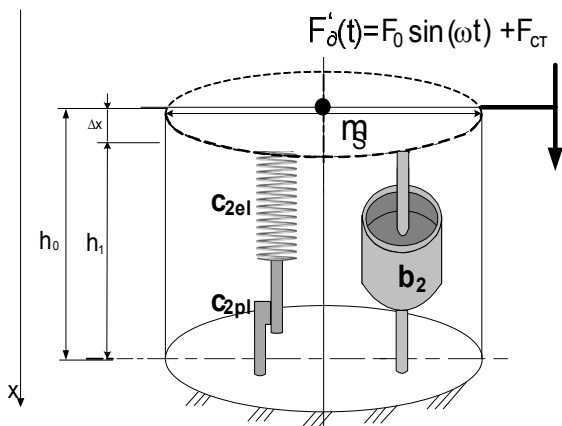


Рис. 1. Схема деформирования элементарного упруго вязко пластичного деформируемого столба среды внешней периодической силой

Поскольку модуль деформации среды характеризуется пластической и упругой деформациями [2,5], то жёсткость столба грунтовой среды также складывается из упругой и пластической составляющих.

$$c_{2el} = \frac{E_y S}{h_0}, \quad (9)$$

где E_y – модуль упругости грунтовой среды, МПа.

$$c_{2pl} = \frac{E_n S}{h_0}, \quad (10)$$

где E_n – модуль пластичности грунтовой среды, МПа.

Преобразуем уравнение (6) с целью изучения поведения деформируемой грунтовой среды при динамическом нагружении внешней периодической силой:

$$\Delta \ddot{x} + \frac{b_2}{m} \Delta \dot{x} + \frac{c_2}{m} \Delta x = \frac{F_0}{m} \sin \omega t + \frac{F_{cm}}{m}. \quad (11)$$

Очевидно, что решение уравнения (6) имеет общеизвестный вид:

$$\Delta x(t) = \frac{a_0 k \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + k^2 \omega^2} + \frac{a_0 \sin(\omega t - \phi)}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + k^2}}. \quad (12)$$

Здесь деформация системы на каждом цикле, в силу соотношения между жесткостью и вязкостью, в значительной степени зависит от величины внешней силы и частоты её приложения, поэтому рассматривается решение только для вынужденных колебаний.

Постоянная сила «статического пригруза» F_{ct} , приводит к возникновению постоянного смещения (изменению точки отсчета), и ее влияние может быть учтено выбором начальных условий.

Решение уравнения (3) не представляет сложности в случае неизменных параметров $b_2, c_2 (\omega_0^2, k)$, но при меняющихся параметрах

точное решение затруднительно. Поэтому решение определяется приближением, обеспечивающим достаточную точность расчётов, с учётом принятых допущений [4, 6]. Оценка остаточных деформаций, обусловленных силами пластического сопротивления, производится следующим образом:

При деформации сжатия, когда выполняется условие $\sigma_m(t_i) < \sigma(t_i) < \sigma_{np}(t_i)$, вынуждающая сила действует как против упругих, так и пластических сил сопротивления среды, так что

$$\omega_{01}^2 = \frac{c_{2el} \cdot c_{2pl}}{c_{2el} + c_{2pl}} / m. \quad (13)$$

и определяется модулем деформации (8), соотношение между пластическими и упругими напряжениями можно выразить, используя уравнения (9, 10),

$$c_2 = \frac{c_{2el} \cdot c_{2pl}}{c_{2el} + c_{2pl}}. \quad (14)$$

На всем остальном периоде действует только упругая сила, так что

$$\omega_{02}^2 = \frac{c_{2el}}{m}. \quad (15)$$

Очевидно, что остаточная деформация на одном периоде будет равна доле неупругой деформации в амплитуде колебаний с учетом пластической силы:

$$\Delta x = \frac{a_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + k^2}}. \quad (16)$$

Поскольку реальные процессы происходят в деформируемой среде нелинейно, то изучение изменения НДС среды на примере использования одного элементарного столба не позволяет получить достаточно полной картины распределения напряжений и деформаций по всей толщине уплотняемого слоя. Поэтому слой среды необходимо рассматривать в виде нескольких элементарных соединённых столбов [7,8,9,10,11] (рис. 2), которые последовательно воспринимают нагрузку от внешней силы. В этом случае, используя вышепредложенный модельный подход, необходимо получить аналогичное решение для системы уравнений движения нескольких сосредоточенных масс. Для того, чтобы в первом приближении оценить нелинейность системы минимальное количество последовательно соединённых столбов должно быть не менее трёх.

$$\begin{cases} m_1 \Delta \ddot{x}_1 + b_2 (\Delta \dot{x}_1 - \Delta \dot{x}_2) + c_2 (\Delta x_1 - \Delta x_2) - b_1 (\Delta \dot{x}_{po} - \Delta \dot{x}_1) - c_1 (\Delta x_{po} - \Delta x_1) = F_0(t); \\ m_2 \Delta \ddot{x}_2 + b_2 (\Delta \dot{x}_2 - \Delta \dot{x}_3) - b_2 (\Delta \dot{x}_1 - \Delta \dot{x}_2) - c_2 (\Delta x_2 - \Delta x_3) - c_2 (\Delta x_1 - \Delta x_2) = m_2 g; \\ m_3 \Delta \ddot{x}_3 + b_2 \Delta \dot{x}_3 - b_2 (\Delta \dot{x}_2 - \Delta \dot{x}_3) + c_2 \Delta x_3 - c_2 (\Delta x_2 - \Delta x_3) = m_3 g. \end{cases} \quad (17)$$

где Δx_i – деформация соответствующего элементарного стержня среды, м; $m_i = \rho_i V_i$ – соответствующая приведенная масса стержня, кг; ρ_i – плотность соответствующего элементарного стержня, кг/м³; V_i – объём соответствующего элементарного стержня, м³; h_0 – толщина уплотняемого слоя среды, м; S – площадь контакта, м²; E – модуль деформации среды, Па; b_2 – коэффициент вязкого трения деформируемого столба среды, Нс/м; c_2 – жёсткость деформируемого столба среды, Н/м; η_2 – вязкость деформируемой среды, Нс/м²; $F_0(t)$ – внешняя периодическая сила, Н.

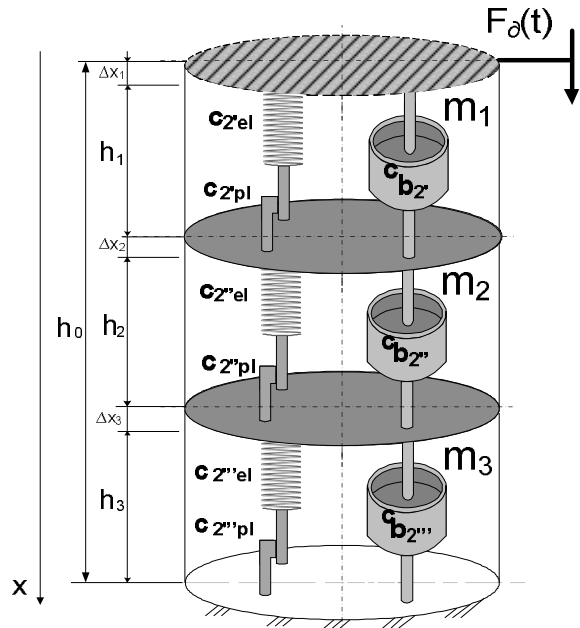


Рис. 2. Деформирование грунтовой среды внешней периодической силой в виде нескольких элементарных столбов

В соответствии с выбранным модельным подходом и принятыми допущениями, циклический процесс приводит к накоплению пластических деформаций: уплотнению среды, так что суммарная деформация составит

$$\Delta x = \sum_{i=1}^n \Delta x_i . \quad (18)$$

Изменение параметров среды от деформации происходит на каждом периоде, когда вязкость и жесткость пересчитываются для новых значений высоты деформируемого столба и его эффективной площади (с учетом угла внутреннего трения).

Суммарная работа на уплотнение считается законченной при достижении граничных условий (заданного коэффициента уплотнения).

$$\frac{\rho_0}{\rho_{\text{конеч}}} = \frac{h_0 - \Delta x}{h_0} = k_y, \quad (19)$$

где ρ_0 – начальная плотность деформируемой среды, кг/м³; $\rho_{\text{конеч}}$ – конечная (нормативная) плотность среды, кг/м³.

Исходя из выражения для величины полной деформации (18) и учитывая граничные условия процесса уплотнения среды (19), определим необходимое количество циклов приложения нагрузки n для достижения граничных условий.

Число циклов n , необходимых для этого, с учётом работ Хархуты Н. Я., Калужского Я. А., Пермякова В. Б. и др., [5, 12, 13, 14] определяет время работы

$$t = 2\pi n / \omega . \quad (20)$$

Соответствующая скорость уплотнителя, с учётом времени и частоты приложения внешней силы, для достижения необходимой плотности деформируемой среды определится, как

$$v = \frac{d}{t} , \quad (21)$$

где d – продольный параметр пятна контакта рабочего органа со средой, м.

В первом приближении d может быть найден, как

$$d = S / L , \quad (22)$$

где L – ширина рабочего органа уплотнителя, м.

Напряжения для каждого цикла, возникающие в деформируемой грунтовой среде, определяются:

$$\sigma_i = \frac{F_i}{S_i} = \frac{c_{2i}\Delta x_i}{S_i(x)} . \quad (23)$$

Заключение

Предложенный модельный подход даёт возможность провести полномасштабные теоретические исследования процесса динамического деформирования упруго вязко пластичных сред различными силовыми рабочими органами уплотнителей. Анализ результатов математического моделирования позволяет определить рациональные параметры рабочего органа уплотнителя, величину внешней периодической силы и частоту её приложения, с учётом свойств деформируемой среды. Работы проводятся в рамках проектной части государственного задания на научные исследования Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографический список

1. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособие для студентов вузов / В.И. Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.: ил.
2. Овчинников, П.Ф. К теории вибрационных машин с учётом влияния обрабатываемой среды/ П. Ф. Овчинников // Прикладная механика. – 1965. – №7. – С. 84 – 90.
3. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер; под ред. Э. И. Григолюка; пер. с англ. Л. Г. Корнейчука. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
4. Савельев, С.В. Исследования напряжённо-деформированного состояния упруго-вязкой среды при вибрационном нагружении / С.В. Савельев, В.В. Михеев // Вестник СибАДИ. 2012. – №3 (25). – С. 83 – 87.
5. Хархута, Н.Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я. Хархута, Ю.М. Васильев. – М: Транспорт, 1975 – 285 с.
6. Савельев С.В. Исследования деформирования упруговязкой среды при ударном нагружении / С.В. Савельев, В.В. Михеев // Вестник СибАДИ. – № 4 (26). – 2012. – С. 100 – 103.
7. Попов, Г.Н. Выбор параметров прицепных вибрационных катков / Г.Н. Попов, Н.Я. Хархута // Строительные и дорожные машины. – 1972. – № 1. – С. 16-17.
8. Савельев С.В. Модель взаимодействия рабочего органа вибрационного катка с уплотняемой средой/ С.В. Савельев, С.А. Милушенко, А.Г. Лашко // Механизация строительства. – 2013. – № 1 (823). – С. 24-28.

9. Овчинников, П.Ф. Виброреология / П.Ф. Овчинников. – Киев: Наук. Думка, 1983. – 272 с.

10. Яблонский А.А. Курс теории колебаний: учеб. пособие для студентов вузов / А.А. Яблонский, С. С. Норейко. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1975. – 248 с.

11. Kopf, Fritz. Modelling and simulation of heavy tamping dynamic response of the ground / Fritz Kopf, Ivan Paulmichl, Dietmar Adam // From Research to Design in European Practice, Bratislava, Slovak Republic, on June 2-4, 2010 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http:// publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_186214.pdf](http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_186214.pdf)

12. Калужский, Я.А. Закономерности укатки грунтовых слоёв жёсткими катками/ Я.А. Калужский // Труды / ХАДИ. – Харьков, 1959. – Вып. 20. – С. 34–36.

13. Пермяков, В.Б. Совершенствование теории, методов расчёта и конструкций машин для уплотнения асфальтобетонных смесей: дис. ... д-ра техн. наук / В.Б. Пермяков; СибАДИ. – Омск, 1990. – 485 с.

14. Michael C. McVay, Evaluating thick lift limerock-base course SR-826: Report, Draft Final Report April 2005. – Miami Florida, 2005. – 92 p.

MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC DEFORMATION OF COMPACTED ELASTIC VISCOUS PLASTIC MEDIUM

S.V. Saveliev, V.V. Miheev, A.S. Beloded

Abstract. The article is devoted to research of dynamic deformation of soil sealing process environment. An original approach to the modeling of the process. Sealing medium is regarded as elasticviscoelastic body, a deformable external periodic force. As the elements characterizing the rheological properties of such a medium, selected elements before it: Gooke, Newton and Saint-Venant. The model allows us to investigate the stress-strain state of the environment in the process of deformation of the entire thickness of up-lotnyaemogo layer. Implementation of the proposed modeling approach allows the rose-Sit seal the energy efficiency of the process, select the modes of rational flow of the process and the parameters of the compactor.

Keywords: deformation, sealing, medium, research, process.

References

1. Balovnev V.I. *Modelirovanie processov vzaimodejstvija so sredoj rabochih organov dorozhno-stroitel'nyh mashin* [Modeling of processes of interaction with the circle of workers of bodies of road-building cars: studies. a grant for students of higher education institutions]. Moscow, Vysshaja shkola, 1981. 335 p.

2. Ovchinnikov P.F. K teorii vibracionnyh mashin s uchjotom vlijanija obrabatyvaemoj sredy [To the theory of vibration cars taking into account influence processed by Wednesday]. *Prikladnaja mehanika*, 1965, no 7. pp. 84 – 90.

3. Timoshenko S.P. *Kolebanija v inzhenernom dele* [Fluctuations in engineering]. S. P. Timoshenko, D. H. Jang, U. Uiver; pod red. Je. I. Grigoljuka; per. s angl. L. G. Kornejchuka. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 472 p.

4. Savel'ev S.V., Miheev V.V. Issledovanija naprjazhjonno-deformirovannogo sostojanija uprugovjazkoj sredy pri vibracionnom nagruženii [Researches of the intense deformed condition of the elastic and viscous environment at vibration loading]. *Vestnik SibADI*, Omsk, SibADI, 2012, no 3 (25). pp. 83 – 87.

5. Harhuta N.Ja. Vasil'ev Ju.M. *Prochnost', ustojchivost' i uplotnenie gruntov zemjanogo polotna avtomobil'nyh dorog* [Prochnost, stability and consolidation of soil of a road bed of highways]. Moscow, Transport, 1975. 285 p.

6. Savel'ev S.V., Miheev V.V. Issledovanija deformirovanija uprugovjazkoj sredy pri udarnom nagruženii [Researches of deformation of the uprugovjazky environment at shock loading]. *Vestnik SibADI*, no 4 (26), 2012. pp. 100 – 103.

7. Popov G.N., Harhuta N.Ja. Vybor parametrov pricepnyh vibracionnyh katkov [Choice of parameters of hook-on vibration skating rinks]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 1972, no 1. pp. 16-17.

8. Savel'ev S.V., Miljushenko S.A., Lashko A.G. Model' vzaimodejstvija rabocheho organa vibracionnogo katka s uplotnjaemoj sredoj [Model of interaction of working body of a vibration skating rink with the condensed environment]. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2013, no 1 (823). pp. 24-28.

9. Ovchinnikov P.F. *Vibrareologiya* [Vibrorheology]. Kiev, Nauk. Dumka, 1983. 272 p.

10. Yablonsky A.A., Noreyko S.S. *Kurs teoryi kolebanyi* [Course of the theory of fluctuations: studies. a grant for students of technical colleges]. Moscow, Visshaya shkola, 1975. 248 p.

11. Kopf Fritz. Modelling and simulation of heavy tamping dynamic response of the ground / Fritz Kopf, Ivan Paulmichl, Dietmar Adam // From Research to Design in European Practice, Bratislava, Slovak Republic, on June 2-4, 2010. Available at: [http:// publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_186214.pdf](http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_186214.pdf)

12. Kaluzhskij Ja.A. Zakonomernosti ukatki gruntovyh slojov zhjostkimi katkami [Regularities of an ukatka of soil layers rigid skating rinks]. *Trudy/ HADI*. Har'kov, 1959. no 20. pp. 34–36.

13. Permjakov V.B. Sovershenstvovanie teorii, metodov raschjota i konstrukcij mashin dlja uplotnenija asfal'tobetonnyh smesej dis. d-ra tehn. nauk [Improvement of the theory, methods of calculation and designs of cars for consolidation of asphalt concrete mixes dis. d-ra tehn. nauk]. Omsk, 1990. 485 p.

14. Michael C. McVay, Evaluating thick lift limerock-base course SR-826: Report, Draft Final Report April 2005. Miami Florida, 2005. 92 p.

Савельев Сергей Валерьевич (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент. профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» (ЭСМИК), ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: saveliev_sergval@mail.ru).

Михеев Виталий Викторович (Россия, г. Омск) – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Комплексная защита информации» (КЗИ) ФГБОУ ВПО ОмГТУ (644050, г. Омск, пр. Мира, 11, e-mail: vvm125@mail.ru).

Белодед Александр Сергеевич (Россия, г. Омск) – магистрант кафедры Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве (ЭСМИК) ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sashabeloded123@gmail.com).

Savel'ev Sergey Valeryevich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, the associate professor. professor of "Operation and Service of Transport Technological Machines and Complexes in Construction" department (ESMIK), of

The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: saveliev_sergval@mail.ru).

Mihev Vitalyi Viktorovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of physical and mathematical sciences, the associate professor "Complex Information Security" (CIS) Omsk state technical university (644050, Omsk, Mira Ave., 11, e-mail: vvm125@mail.ru).

Beloded Alexander Sergeyevich Russian Federation, Omsk) – undergraduate of the Operation department and service of transport technological machines and complexes in construction (ESMIK) of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: sashabeloded123@gmail.com).

УДК 004.9

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Е.В. Селезнева, Т.А. Юрина
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск, Россия.

Аннотация. Рассмотрены виды технологических систем, применяемых в практике строительного производства, раскрывается понятие критерия эффективности, сформулированы требования к критериям эффективности, предназначенным для технологических решений, позволяющие достичь оптимального решения. Представлены виды задач оптимального проектирования и приведен пример построения математической модели проектирования оптимального состава бетонной смеси. Приведен фрагмент алгоритма и результат поиска оптимального решения.

Ключевые слова: проектирование, оптимизация, система, математическая модель.

Введение

Для успешного применения математических методов и управления технологией производства большое значение имеют правильная оценка технологических факторов и выбор соответствующих критериев. В ряде случаев это требует совершенствования существующих методов определения свойств материалов и параметров технологических процессов, разработки таких методов испытаний и выбора параметров и характеристик материалов, которые отвечают по точности и достоверности применяемым методам математических исследований и анализу технологических систем.

Виды технологических систем

Системы можно разделить на два класса: детерминированные и стохастические, хотя в практике производства исследуемые системы часто не делятся столь четко [1].

К детерминированным относят системы, в которых составные части взаимодействуют точно предвидимым образом. При исследовании детерминированной системы не возникает никакой неопределенности. Изменение одного из элементов системы на некоторую величину всегда вызывает изменение другого или других на строго определенную величину. Если величина какого-то технологического фактора X_i изменится на ΔX_i , то свойство Y_i всегда изменится на ΔY_i .

Для стохастической (вероятностной) системы нельзя сделать точного детального предсказания. Такую систему можно тщательно исследовать и установить с большой степенью вероятности, как она будет себя вести в любых заданных условиях. Однако система все-таки остается неопределенной и любое предсказание относительно ее поведения никогда не может выйти из логических рамок вероятностных