

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.3.04

УДК 691.5

М.В. Ваталева, А.Г. Шумихин

Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, Пермь, Россия

УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СУХИХ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Рассмотрены вопросы алгоритмизации задачи, связанной с принятием решений по оперативному управлению запасами сырьевых компонентов на складах производства сухих магнезиальных тампонажных смесей (СМТС), предназначенных для получения тампонажных растворов для цементирования обсадных колонн нефтяных и газовых скважин, путем затворения сухой смеси водным раствором хлорида магния, и с оценкой производственных возможностей оборудования технологической линии по их производству. Актуальность решения задачи обусловлена необходимостью оптимизации запасов хранящихся сырьевых компонентов при условии обеспечения их достаточности для выполнения поставок партий готовой продукции с учетом того, что производство сухих магнезиальных тампонажных смесей имеет признаки гибкого из-за частой смены рецептуры смеси, от которой зависят показатели качества тампонажного раствора. Требования к значениям показателей качества определяет заказчик партии сухих магнезиальных тампонажных смесей, исходя из горно-геологических, литолого-стратиграфических и термобарических условий разрезов этих месторождений, а также с учетом технико-технологических условий их применения при производстве цементировочных работ в скважинах.

В приведенном в статье примере расчетов технологическая линия по производству сухих магнезиальных тампонажных смесей рассматривается как система массового обслуживания (СМО). Алгоритм расчета запасов по каждому из сырьевых компонентов основан на принципе системы управления ими по состоянию с мониторингом достаточности и фиксированными интервалами времени между пополнениями, который позволяет предприятию-изготовителю сократить расходы на приобретение, транспортировку и хранение сырьевых компонентов для приготовления качественных магнезиальных тампонажных растворов.

Ключевые слова: нефтяные и газовые скважины, тампонажный раствор, сухая магнезиальная тампонажная смесь, производство, система массового обслуживания, рецептура, запасы сырьевых компонентов, управление.

M.V. Vataleva, A.G. Shumikhin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

INVENTORY MANAGEMENT OF RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF DRY MAGNESIAN MIXTURES FOR CEMENT SLURRIES OF OIL AND GAS WELLS

The paper discusses the issues of algorithmization of the problem associated with decision-making on the operational management of stocks of raw materials in the warehouses for the production of dry magnesia cement mixtures (DMCM), intended for the production of cement slurries for cementing casing strings of oil and gas wells by mixing the dry mixture with an aqueous solution of magnesium chloride, and with an assessment of the production capabilities of the equipment of the technological line for their production. The urgency of solving the problem is due to the need to optimize the reserves of stored raw materials, provided that they are sufficient to supply batches of finished products, taking into account the fact that the production of dry magnesia grouting mixtures has signs of flexibility due to the frequent change in the recipe of the mixture, on which the quality parameters of grouting grout depend. Requirements for the values of quality indicators are determined by the Customer of a batch of dry magnesia grouting mixtures, based on the geological, lithological, stratigraphic and thermobaric conditions of the sections of these deposits, as well as taking into account the technical and technological conditions for their use in cementing work in wells.

In the calculation example presented in the article, the technological line for the production of dry magnesia grouting mixtures is considered as a mass service system (QS). The algorithm for calculating reserves for each of the raw materials components is based on the principle of their management system as of monitoring sufficiency and fixed time intervals between replenishment, which allows the manufacturer to reduce the cost of acquisition, transportation and storage of raw materials for the preparation of high-quality magnesia grouting mortars.

Keywords: *oil and gas wells, cement slurry, dry magnesia cement mixture, production, queuing system, recipe, raw materials stocks, management.*

В осложненных горно-геологических условиях для обеспечения высокого качества цементирования обсадных колонн в нефтяных и газовых скважинах используются магниевые тампонажные растворы, приготавливаемые путем затворения сухой магниевой тампонажной смеси водным раствором хлорида магния [1–3]. Создание сухих магниевых тампонажных смесей (СМТС) возможно только в стационарных условиях, на тщательно подготовленных площадках. Тампонажная смесь представляет собой многокомпонентную сухую, сыпучую, мелкодисперсную гетерогенную композицию [4]. Компоненты смеси хранятся на производственных складах в больших объемах,

необходимых для долгосрочного обеспечения непрерывного производства. В процессе долгого хранения физико-химические свойства исходных материалов могут меняться так, что данный материал становится непригодным для дальнейшего использования и его приходится утилизировать. Вследствие этого для каждой новой партии сухой магнезиальной тампонажной смеси (часто новой рецептуры) приходится подбирать необходимые компоненты с повторными анализами для установления текущих физико-химических свойств материалов. Все это приводит к увеличению сроков поставок партий готовой продукции заказчикам, простоя оборудования технологической линии, перерасходу людских и материальных ресурсов и, как следствие, к большим экономическим потерям, связанным с неэффективной организацией логистической поддержки производства. Отсюда вытекает задача создания системы оперативного управления запасами сырья и готовой продукции на предприятии с целью своевременной поставки ее заказчикам [5–8].

Поскольку производство СМТС является многотоннажным и характеризуется гибкостью, которая обусловлена частой сменой рецептуры партий продукции в зависимости от требований заказчиков к значениям показателей качества тампонажных растворов, применяемых на их скважинах, находящихся в определенных горно-геологических условиях, а закупки сырья производятся в больших объемах в расчете на долгосрочную перспективу, то часто на производстве возникает переизбыток одних компонентов сырья и снижение до критического уровня запасов других. Анализ логистических данных по организации закупок магнезиальных вяжущих на производстве СМТС (рис. 1) показывает, что расход компонентов и пополнение их запасов происходит неравномерно, это может привести также к переизбытку компонентов на складе и нехватке оборудованных мест для их хранения [9].

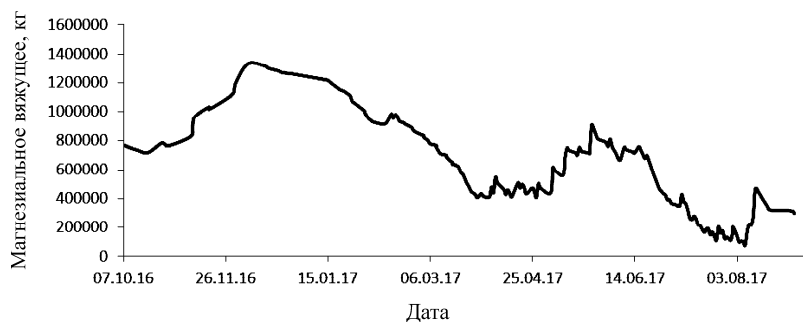


Рис. 1. График изменения запаса сырья на предприятии

При планировании достаточности материала на складе для расчета загрузки оборудования на технологической линии производства СМТС можно воспользоваться теорией систем массового обслуживания (СМО) [10–12]. Обслуживание заявки продолжается в общем случае случайное время, после чего канал обслуживания освобождается и готов к приему следующей заявки. Случайный характер потока заявок и времени обслуживания приводит к тому, что в какие-то периоды времени на входе СМО скапливаются заявки (они либо становятся в очередь, либо вынуждены покинуть СМО необслуженными), в другие же периоды СМО может работать с недогрузкой или простаивать.

Технологическую линию по производству можно рассматривать как одноканальную систему массового обслуживания с ограниченной длиной очереди. Заявка, поступившая в момент, когда канал занят, становится в очередь и ожидает обслуживания. Заявкой является требуемый объем партии, а также рецептура сухой магнезиальной тампонажной смеси, выдаваемая лабораторией в зависимости от требований заказчика к значениям показателей качества тампонажного раствора.

Рассматривается пример, когда длина очереди заявок равна двум, длительность обслуживания одной заявки составляет 5 ч. Пусть поток обслуживаний является простейшим пуассоновским, а состояния СМО представляются следующим образом: S_0 – канал обслуживания свободен, S_1 – канал обслуживания занят, но очереди нет, S_2 – канал обслуживания занят, в очереди одна заявка, S_3 – канал обслуживания занят, в очереди две заявки. Таким образом, известно, что в день приходит две рецептуры, а приготовление смеси длится 5 ч, тогда среднее время обслуживания заявки $t_{об} = 5$ ч; интенсивность поступления в СМО заявок (среднее число заявок, поступающих в СМО в единицу времени) $\lambda = 0,083 \text{ ч}^{-1}$; интенсивность обслуживания заявок (среднее число заявок, обслуживаемых одним каналом в единицу времени) $\mu = \frac{1}{t_{об}} = 0,2 \text{ ч}.$

Стационарный процесс в данной системе будет описываться следующей системой алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\rho P_0 + P_1 = 0, n = 0; \\ \dots\dots\dots \\ -1(1-\rho)P_n + P_{n+1} + \rho P_{n-1} = 0, 0 < n < N; \\ \dots\dots\dots \\ -P_N + \rho P_{N-1} = 0, n = N, \end{array} \right. \quad (1)$$

где ρ – коэффициент загрузки СМО, $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0,415$; n – номер состояния; P_n – вероятность состояния S_n , $n = 0, \dots, N$.

Система уравнений имеет следующее решение:

$$P_0 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}} = \frac{1-0,415}{1-0,415^{3+1}} = 0,60288233,$$
$$P_n = P_0 \rho^n, \quad (2)$$

откуда следует:

$$P_1 = P_0 \rho^1 = 0,60288233 \cdot 0,415 = 0,2502;$$

$$P_2 = P_0 \rho^2 = 0,60288233 \cdot 0,415^2 = 0,1038;$$

$$P_3 = P_0 \rho^3 = 0,60288233 \cdot 0,415^3 = 0,0431.$$

Определим характеристики СМО:

1. Вероятность отказа в обслуживании заявки (вероятность того, что заявка покинет систему без обслуживания)

$$P_{\text{отк}} = P_N = 0,0431 \approx 0.$$

2. Относительная пропускная способность СМО (средняя доля поступающих заявок, обслуживаемых системой)

$$Q = 1 - P_{\text{отк}} = 1.$$

3. Абсолютная пропускная способность СМО (среднее число заявок, обслуживаемых системой в единицу времени)

$$A = Q \cdot \lambda = 1 \cdot 0,083 = 0,083.$$

4. Среднее число заявок, находящихся в очереди в СМО,

$$L_s = \sum_{n=0}^N n P_n = 0 \cdot 0,60288233 + 1 \cdot 0,2502 + 2 \cdot 0,0431 = 0,5871.$$

5. Среднее время пребывания заявки в СМО

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda(1 - P_N)} = \frac{0,5871}{0,83(1 - 0)} = 7.$$

6. Средняя продолжительность пребывания заявки в очереди

$$W_q = W_s - \frac{1}{\mu} = 7 - \frac{1}{0,2} = 2.$$

7. Среднее число заявок в очереди (длина очереди)

$$L_q = \lambda(1 - P_N)W_q = 0,116.$$

Оценив характеристики СМО, соответствующей рассматриваемой ситуации в очереди на производство партии СМТС, можно прийти к выводу, что заявки будут производством обслужены.

Одной из основных систем управления запасами служит система с фиксированным интервалом между пополнениями (рис. 2).

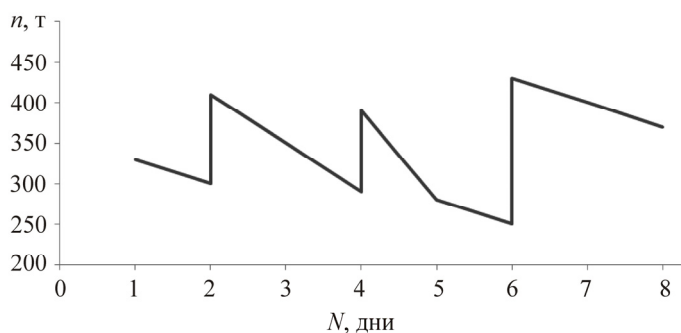


Рис. 2. Система с постоянным уровнем запаса
(или фиксированным интервалом времени пополнения)

В этой системе издержки управления запасами в явном виде не рассматриваются и фиксированный размер заказа компонентов отсутствует [13–15]. Через постоянные промежутки времени проводится проверка состояния запасов: если после предыдущей проверки было произведено какое-либо количество СМТС, то дается заказ на пополнение запасов.

Пусть размер заказа g равен разности между максимальным уровнем M , до которого происходит пополнение запасов, и фактическим уровнем в момент проверки J_ϕ , т.е.

$$g = M - J_\phi. \quad (3)$$

Максимальный уровень запасов определяется по формуле

$$M = B + \bar{S}_d(L + R), \quad (4)$$

где B – резервный запас; $\bar{S}_d$ – средний ожидаемый заказ на производство продукции; L – время поставки компонентов; R – длительность промежутка времени между проверками достаточности материалов на складе.

Уровень M , до которого происходит пополнение склада, является минимальным уровнем запасов, при котором обеспечивается необходимая защита от дефицита при выполнении принятого плана периодических проверок и заказов продукта. Он достигается в том случае, когда в интервале от момента подачи требования на пополнение запасов до момента получения отсутствуют заказы на производство СМТС. Размер пополнения зависит от размера сбыта продукции после последней проверки. Средний уровень запасов составляет

$$\bar{J} = B + \frac{\bar{S}_d}{2} R. \quad (5)$$

Размер резервного запаса можно определить, рассматривая распределение заявок на производство СМТС за плановый промежуток времени.

Существует система управления запасами с двумя уровнями, или S_s система. Это система с постоянным уровнем запасов, для которой установлен нижний предел размера пополнения. В такой системе рассматривается максимальный уровень запасов M и используется «точка» подачи заявки на пополнение запасов P , которая вычисляется по формуле

$$P = B + \bar{S}_d \left(L + \frac{R}{2} \right). \quad (6)$$

Для определения запасов применяется одно из двух правил:

$$g = \begin{cases} M - J_\phi, & \text{если } L < R; \\ M - J_\phi - g_0, & \text{если } L \geq R, \end{cases} \quad (7)$$

где g_0 – требуемое для пополнения запасов количество материалов.

Для непрерывной работы рассматриваемого предприятия по производству СМТС необходимо знать достаточный объем материала на складе и требуемый размер пополнения. Известно, что проверка наличия материалов на складах производится каждый день, время поставки материалов для пополнения запасов составляет 7 суток, резерв-

ный запас магнезиального вяжущего составляет 210 т, его среднесуточный расход – 30 т, минимальный размер пополнения запасов – 21 т.

Подставив эти значения в формулы (3)–(7), получим: $M = 450$ т; $J_{\phi} = \bar{J} = 225$ т; $g = 225$ т; $P = 435$ т.

Приведенные результаты расчета показателей свидетельствуют о том, что хранение на предприятии магнезиального вяжущего в количестве больше, чем 450 т, нецелесообразно, т.е. при достижении количеством материала, хранимого на складе, значения 435 т необходимо подать заявку на пополнение запасов на 225 т.

В соответствии с рассмотренным алгоритмом рассчитаны запасы для всех основных компонентов СМТС (таблица).

Расчет показателей системы управления запасами
для основных компонентов

Компонент	Максимальный уровень запасов, т	Средний уровень запасов, т	Размер пополнения, т	Точка заказа, т
Магнезиальное вяжущее	450	225	225	435
Химически активное тонкодисперсное магнезиальное вяжущее	900	450	450	870
Расширяющая добавка	180	90	90	174

Использование подобного алгоритма расчета запасов позволяет предприятию снизить расходы, связанные с приобретением и хранением переизбытка сырья, и снижает риск остановки производства из-за нехватки необходимого объема компонентов, входящих в рецептуру СМТС.

Список литературы

1. Применение магнезиальных цементов при бурении скважин и добыче нефти / Г.М. Толкачев, Ю.А. Дулепов, А.М. Шилов [и др.]; ЦП НТО НГП им. академика И.М. Губкина, – М., 1987.
2. Применение магнезиальных цементов при креплении глубоких нефтяных и газовых скважин / Г.М. Толкачев, А.С. Козлов, А.В. Анисимова [и др.] // Сборник научных трудов SWorld. – Одесса, 2013. – Вып. 3. – Т. 14.

3. Козлов А.С., Пастухов А.М. Тампонажный материал для цементирования обсадных колонн в интервалах многолетнемерзлых пород // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 10. – С. 42–48.
4. Приготовление сухих смесей магнезиальных тампонажных материалов в стационарных условиях / Г.М. Толкачев [др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 8. – С. 43–45.
5. Инновационный менеджмент: учеб. для вузов /А.Е. Абрамешин, Т.П. Воронина, О.П. Молчанова, Е.А. Тихонова, Ю.В. Шленов; под ред. О.П. Молчановой. – М.: Вита-Пресс, 2001. – 272 с.
6. Бастриков М.В., Пономарев О.П. Информационные технологии управления: учеб. пособие / Ин-т КВШУ. – Калининград, 2005. – 140 с.
7. Бородин Т.А., Загудайло А.В. Разработка системы поддержки принятия решений при управлении запасами организации // Творческое наследие А.С. Посникова и современность. – 2015. – № 8. – С. 124–128.
8. Жаворонкова М.С., Папанцева Е.И. Методология, стандартизация и сертификация: метод. указания и задания для выполнения лаб. работ. – Ставрополь: СервисШкола, 2011. – 152 с.
9. Чекалдин А.М. Управление производственными запасами на промышленном предприятии // Modern Economy Success. – 2017. – № 3. – С. 73–76.
10. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управления запасами. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
11. Кирпичников А.П., Флакс Д.Б., Галямова К.Н. Средняя длина очереди в системе массового обслуживания с ограниченным средним временем пребывания заявки в системе // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 81–84.
12. Кирпичников А.П., Фадхал Зайнаб, Титовцев А.С. Классическая система массового обслуживания (модель М/М/1) // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015. – № 3(16). – С. 10–13.
13. Майзлиш А.В., Волинский В.Ю. Алгоритм оперативного управления запасами материальных ресурсов производственных предприятий на основе ячеечной модели // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – № 42(393). – С. 22–34.
14. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики.– СПб.: Питер, 2008. – 448 с.
15. Петренко А.С., Емыкова А.А. Управление запасами в стратегическом управлении организацией // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12(27). – С. 352–355.

References

1. Tolkachev G.M., Dulepov Iu.A., Shilov A.M. et al. Primenenie magnezial'nykh tsementov pri burenii skvazhin i dobyche nefti [The use of magnesia cements in well

drilling and oil production]. Moscow, Izd. TsP NTO NGP im. akademika I.M. Gubkina, 1987.

2. Tolkachev G.M., Kozlov A.S., Anisimova A.V. i dr. Primenenie magnezial'nykh tsementov pri kreplenii glubokikh neftianykh i gazovykh skvazhin [The use of magnesia cements for fastening deep oil and gas wells]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*. Odessa: KUPRIENKO SV, 2013, iss. 3, vol. 14.

3. Kozlov A.S., Pastukhov A.M. Tamponazhnyi material dlia tsementirovaniia obsadnykh kolonn v intervalakh mnogoletnemerzlykh porod. [Grouting material for cementing casing strings in permafrost intervals]. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2014, no. 10, pp. 42–48.

4. Tolkachev G.M. et al. Prigotovlenie sukhikh smesei magnezial'nykh tamponazhnykh materialov v statsionarnykh usloviyakh [Preparation of dry mixtures of magnesia cement materials in stationary conditions]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2008, no. 8, pp. 43–45.

5. Abrameshin A.E., Voronina T.P., Molchanova O.P., Tikhonova E.A., Shlenov Iu.V. Innovatsionnyi menedzhment [Innovation Management]. Ed. O.P. Molchanova. Moscow, Vita-Press, 2001, 272 p.

6. Bastrikov M.V., Ponomarev O.P. Informatsionnye tekhnologii upravleniia [Management Information Technology]. Kaliningrad, Institut «KVShU», 2005, 140 p.

7. Borodich T.A., Zagudailo A.V. Razrabotka sistemy podderzhki priniatiia reshenii pri upravlenii zapasami organizatsii [Development of a decision support system for organization inventory management]. *Tvorcheskoe nasledie A.S. Posnikova i sovremennost'*, 2015, no. 8, pp. 124–128.

8. Zhavoronkova M.S., Papantseva E.I. Metodologiya, standartizatsiia i sertifikatsiia [Methodology, standardization and certification]. *Metodicheskie ukazaniia i zadaniia dlia vypolneniia laboratornykh rabot*, 2011, vol. 300, no. 38, p. 143.

9. Chekaldin A.M. Upravlenie proizvodstvennymi zapasami na promyshlennom predpriatii [Industrial inventory management]. *Modern Economy Success*, 2017, no. 3, pp. 73–76.

10. Ryzhikov Iu.I. Teoriia ocheredei i upravleniia zapasami [Theory of queues and inventory management]. Saint Petersburg, Piter, 2001, 384 p.

11. Kirpichnikov A.P., Flaks D.B., Galiamova K.N. Sredniaia dlina ocheredi v sisteme massovogo obsluzhivaniia s ogranichenym srednim vremenem prebyvaniia zaiavki v sisteme [The average queue length in a queuing system with a limited average residence time of an application in the system]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2017, no. 2, vol. 20, pp. 81–84.

12. Kirpichnikov A.P., Fadkhkhal Zainab, Titovtsev A.S. Klassicheskaiia sistema massovogo obsluzhivaniia (model' M/M/1) [The Classical Queuing System (Model M/M/1)]. *Sovremennaiia nauka: aktual'nye problemy i puti ikh resheniia*, 2015, no. 3(16), pp. 10–13.

13. Maizlish A.V., Volynskii V.Iu. Algoritm operativnogo upravleniia zapasami material'nykh resursov proizvodstvennykh predpriatii na osnove iacheechnoi modeli [The algorithm of operational inventory management of material resources of manufacturing enterprises based on the cell model]. *Ekonomicheskii analiz: teoriia i praktika*, 2014, no. 42(393), pp. 22–34.

14. Lukinskii V.S. Modeli i metody teorii logistiki [Models and methods of the theory of logistics]. Saint Petersburg, Piter, 2008, 448 p.

15. Petrenko A.S., Emykova A.A. Upravlenie zapasami v strategicheskoy upravlenii organizatsiei [Inventory management in the strategic management of an organization]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*, 2018, no. 12(27), pp. 352–355.

Получено 25.08.2019

Об авторах

Ваталева Мария Владимировна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры оборудования и автоматизации химических производств Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: monoceross@mail.ru).

Шумихин Александр Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизация технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: atp@pstu.ru).

About the authors

Mariya V. Vataleva (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer of the Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University, (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: monoceross@mail.ru).

Alexander G. Shumikhin (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: atp@pstu.ru).