УДК 519.8

МНОГОФАЗНАЯ СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ВТОРИЧНЫМИ ПОТОКАМИ

Ю. В. Холодов

Астраханский инженерно-строительный институт

В статье проведен теоретический анализ систем массового обслуживания (СМО) с вторичными потоками заявок. Образование вторичных потоков получено с помощью теоремы Гнеденко о редеющих потоках. Анализ проведен с использованием аппарата преобразований Лапласа. Полученные результаты позволяют оптимизировать структуру СМО.

Ключевые слова: *пропускная способность системы, первичный и вторичный потоки заявок, преобразование Лапласа, вероятности физических состояний, среднее время обслуживания.*

POLYPHASE SYSTEM OF QUEUING WITH SECONDARY FLOWS

Yu. V. Holodov

Astrakhan Institute of Civil Engineering

In the article was carried out the theoretical analysis of the QS with the secondary spates of applications. The formation of secondary spates was obtained having applied Gnedenko theorem about thinning flows. The analysis was performed using the apparatus of Laplace transformation. The results allow to optimize the structure of the QS.

Key words: *system capacity, primary and secondary flow applications, Laplace transformation, probabilities of physical states, average service time.*

Обслуживание потока посетителей в любой организации описывается статистическими законами. Однако в области здравоохранения потоки пациентов, находящихся на амбулаторном лечении, наряду с первичными потоками заболевших, образуют вторичные и последующие потоки больных к профилирующему врачу, в отличие от традиционных систем массового обслуживания (СМО). Стоматологические заболевания по своей остроте приносят больному очень неприятные ощущения. Поэтому нет необходимости говорить о том, что работа стоматологической клиники должна быть описана в показателях СМО и на их основании четко организована и, возможно, дополнена структура системы. К ним относятся вероятности занятости/свободности системы, пропускная способность СМО, средние величины времени пребывания в системе и длина очередей и т. д. [1].

Поток пациентов в общем случае будет описываться в следующей форме

$$\zeta_n(t) = \sum_{i=1}^{n} F\,(t - t_i, \Theta_i), \tag{1}$$

где первый аргумент характеризует случайный поток прихода пациентов. Функцией распределения интервалов между ними характеризуется плотностью распределения *f(t)*, а Θ_i – время длительности i-ого обращения. Рассмотрим параллельно-последовательную схему СМО на примере анализа работы стоматологического отделения. В общем случае в стоматологической клинике пациент после оформления медицинской карточки в регистратуре направляется в смотровой кабинет. Врач смотрового кабинета обследует пациента, в зависимости от предварительного диагноза, направляет его к профильному специалисту. Профильный специалист, в зависимости от степени заболевания, направляет пациента на рентген для уточнения диагноза и в дальнейшем назначает ему дополнительные сеансы лечения, формируя тем самым вторичный и последующий потоки пациентов.

Пусть на вход системы обслуживания – в регистратуру – поступает первичный поток пациентов $\zeta_n(t)$. Время обслуживания пациентов в регистратуре характеризуется плотностью распределения $q_p(t)$. Пациенты при заполнении медицинской карточки излагают свои данные, предоставляют полис медицинского страхования, затрачивая время Θ_p, которое в зависимости от возраста пациента может достаточно широко варьироваться от одного посетителя к другому и характеризуется функцией *k(t)*.

Плотность распределения потока пациентов после регистратуры $k_p(t)$ будет определяться интегралом свертки [2] от распределения длительность изложения их личных данных и от плотности распределения функции обслуживания в регистратуре.

$$k_p(t) = \int_0^\infty g_p(\tau) k(t - \tau) d\tau \tag{2}$$

Применив преобразование Лапласа к интегралу свертки (2), получим произведение их образов

$$K_p(s) = G_p(s) \cdot K(s), \tag{3}$$

где

$$G_p(s) = \int_0^\infty g_p(t) e^{-st} dt,$$

$$K(s) = \int_0^\infty k(t) e^{-st} dt \tag{4}$$

преобразования Лапласа, здесь $g_p(t)$, $k(t)$,... – оригиналы, а $G(s), K(s)$, ... – их образы Лапласа. Искомое распределение можно получить, применив к соотношению (3) обратное преобразование Лапласа

$$k_{\text{р}}(t) = \int_0^{\infty} K_p(s)e^{st}ds \qquad (5)$$

Из свойств преобразований Лапласа следует, что среднее время обслуживания пациентов в регистратуре равно

$$T_p = -\frac{dK_p(s)}{ds}\bigg|_{s=0} = -\frac{d\big(K(s)\cdot G_p(s)\big)}{ds}\bigg|_{s=0}, \qquad (6)$$

а средний интервал обращения пациентов в регистратуру равен

$$T = -\frac{dF(s)}{ds}\bigg|_{s=0}. \qquad (7)$$

Здесь $F(s)$ – образ Лапласа от оригинала $f(t)$ – функция распределения интервалов между пациентами. Средний интервал обращения пациентов в регистратуру нетрудно найти через первый момент

$$T = \int_0^{\infty} t\cdot f(t)\,dt.$$

Если следующий пациент подойдет к регистратуре, когда еще обслуживается предыдущий, то подошедший пациент встанет в очередь и вероятность образования очереди равна

$$p_p = \int_0^{T_{op}} f(t)\,dt, \qquad (8)$$

где верхний предел интеграла определяется временем T_{op}, получающимся из нормирования $k_{\text{р}}(t)$. Поток пациентов после регистратуры будет определяться сшивкой двух функций: функцией распределения интервалов между пациентами до регистратуры и частью функции, описывающей обслуживание пациентов в регистратуре $k_{\text{р}}(t)$, но ограниченной снизу временем T_{op}, поскольку частые интервалы следования пациентов будут ограничены временем обслуживания в регистратуре, и будет определяться следующим соотношением:

$$\int_{T_{op}}^{T_p} k_{\text{р}}(t)\,dt + \int_{T_p}^{\infty} f(t)\,dt = 1 \qquad (9)$$

Тогда время нахождения пациента в очереди перед регистратурой будет равно

$$t_p = \int_0^{T_{op}} t\cdot f(t)\,dt. \qquad (10)$$

Поток зарегистрированных пациентов направляется в смотровой кабинет; естественно предположить, что распределение интервалов следования между ними будет зависеть от времени обслуживания врачом смотрового кабинета, которое определятся квалификацией и опытом врача. Тогда средний интервал следования пациентов в смотровой кабинет будет равен

$$T_{p\to c} = \int_{T_{op}}^{T_p} t\cdot k_{\text{р}}(t)\,dt + \int_{T_p}^{\infty} t\cdot f(t)\,dt \qquad (11)$$

Пусть плотность распределения $g_c(t)$ характеризует время обслуживания пациента врачом смотрового кабинета. Тогда поток пациентов после смотрового кабинета будет определяться интегралом свертки

$$k_c(t) = \int_0^{\infty} g_{\text{c}}(\tau)k_{\text{р}}(t-\tau)d\tau \qquad (12)$$

или его образом

$$K_c(s) = G_c(s)\cdot K_{\text{р}}(s). \qquad (13)$$

Применяя к соотношению (13) обратное преобразование Лапласа, получим искомое распределение

$$k_c(t) = \int_0^{\infty} K_c(s)e^{st}ds. \qquad (14)$$

Среднее время обслуживания пациентов в смотровом кабинете

$$T_{\text{c.}} = -\frac{dK_c(s)}{ds}\bigg|_{s=0} = -\frac{d[G_c(s)\cdot K_{\text{р}}(s)]}{ds}\bigg|_{s=0} \qquad (15)$$

Вероятность задержки пациента перед смотровым кабинетом или вероятность того, что пациент встанет в очередь перед смотровым кабинетом, равна

$$p_c = \int_{T_{op}}^{T_{oc}}\{k_{\text{р}}(t) + f(t)\}\,dt. \qquad (16)$$

Время нахождения пациента в очереди перед смотровым кабинетом будет равно

$$t_c = \int_{T_{op}}^{T_{oc}} t\cdot\{k_{\text{р}}(t) + f(t)\}\,dt, \qquad (17)$$

где T_{oc} определяется из условия нормировки функции распределения, описывающей поток пациентов с предварительным диагнозом после осмотра врачом

$$\int_{T_{oc}}^{T_c} k_c(t)\,dt + \int_{T_c}^{\infty} f(t)\,dt = 1 \qquad (18)$$

а средний интервал следования пациентов после осмотра врачом будет равен

$$T_{\text{c}\to} = \int_{T_{oc}}^{T_c} t\cdot k_{\text{c}}(t)\,dt + \int_{T_{\text{c}}}^{\infty} t\cdot f(t)\,dt. \qquad (19)$$

Плотность распределения потока пациентов из смотрового кабинета будет иметь следующий вид

$$f_{c\to}(t) = \begin{vmatrix} k_c(t) & if & T_{oc} < t \le T_{\text{c}} \\ f\ (t) & if & T_{\text{c}} < t < \infty \end{vmatrix}. \qquad (20)$$

Кратко остановимся на предварительном диагнозе. Поток пациентов, обратившихся в стоматологическое учреждение, имеет спектр заболеваний, описывающийся функцией $Z(n)$. Характер предварительного диагноза будет иметь дискретное распределение. Врач смотрового кабинета распределяет пациентов и направляет, например, с заболеванием десен к пародонтологу, с вероятностью $p_{\text{пар}}$, и так далее, к дантисту с вероятностью $p_{\text{дан.}}$, к хирургу с вероятностью $p_{\text{хир}}$ и к протезисту с вероятностью $p_{\text{пр.}}$. Таким образом, врач смотрового кабинета подвергает первичный поток пациентов операции разряжения. Каждый пациент с вероятностью p_i направляется в соответствующий профильный кабинет, а с вероятностями $q_i = 1 - p_i$ направляется в другие кабинеты. Назовем описанное преобразование Θ_p-преобразованием. Согласно теореме Гнеденко [3] для редеющих потоков соответствующее преобразование имеет вид

$$\Theta_{p_i}F_{c\to}(s) = \frac{p_i\cdot F_{c\to}(p_i s)}{1-q_i\cdot F_{c\to}(p_i s)}. \qquad (21)$$

Здесь $F_{c\to}(p_i s)$ – образ Лапласа от оригинала $f_{c\to}\left(\frac{t}{p_i}\right)$. Согласно теореме подобия [4] данный образ Лапласа имеет вид

$$f_{c\to}\left(\frac{t}{p_i}\right) \div p_i \cdot F_{c\to}(p_i s).$$

Одновременно с процессом разряжения производится другой процесс – изменение масштаба времени: за единицу масштаба считается промежуток длины p_i^{-1}. Отсюда нетрудно получить выражение для среднего интервала между пациентами первичного потока, следующими в специализированные кабинеты:

$$\mathrm{T}_{\mathrm{c.p}_i} = -\left.\frac{d\Theta_{p_i} F_{c\to}(s)}{p_i ds}\right|_{s=0}. \qquad (22)$$

В данное соотношение, в отличие от формулы (15), входит масштабирующий множитель p_i^{-1}, учитывающий изменение масштаба времени при разряжении потока пациентов.

Одновременно с потоком первичных пациентов к профильному специалисту подходит и вторичный поток больных, продолжающий лечение, с плотностью потока равной $f_{\text{вт}.i}(t)$. Для объединенного потока находим соответствующую плотность потока через дополнительные функции $H_{\text{об}.i}(t)$:

$$H_{\text{об}.i}(t) = \prod_{i=1}^{k} H_i(t) = H_{\text{вт}.i}(t) \cdot H_{c\to}\left(\frac{t}{p_i}\right). \qquad (23)$$

Тогда интегральная функция распределения объединенного потока пациентов, направляющихся к i-ому специалисту, равна [5]:

$$F_{\text{об}.i}(t) = 1 - H_{\text{об}.i}(t), \qquad (24)$$

а соответствующая плотность объединенного потока распределена по закону

$$f_{\text{об}.i}(t) = \frac{dF_{\text{об}.i}(t)}{dt} = -\frac{dH_{\text{об}.i}(t)}{dt}. \qquad (25)$$

Пусть плотностью распределения $g_i(t)$ характеризует время обслуживания пациента i-ым профильным врачом. Тогда аналогично выводу соотношений от (12) до (18) получим следующие результаты.

Среднее время обслуживания пациентов i-ым профильным врачом:

$$\mathrm{T}_{i.} = -\left.\frac{dK_i(s)}{ds}\right|_{s=0} = -\left.\frac{d[G_i(s)\cdot K(s)]}{ds}\right|_{s=0} \qquad (26)$$

Вероятность задержки пациента перед кабинетом профильного врача:

$$p_{c.i} = \int_0^{T_{o.i}} \{k_i(t) + f_{\text{об}.i}(t)\}\, dt, \qquad (27)$$

здесь нижний предел интегрирования равен 0, что обусловлено вторичным потоком больных, в котором могут наблюдаться интервалы прихода к врачу, близкие к нулю. Верхний предел интегрирования находится из условия равенства единице плотности распределения освобождения кабинета профильного врача

$$\int_{T_{o.i}}^{T_i} k_i(t)\, dt + \int_{T_i}^{\infty} f_{\text{об}.i}(t)\, dt = 1 \qquad (28)$$

Время ожидания пациентом приема профильного врача определяется соотношением

$$t_i = \int_0^{T_i} t \cdot k_i(t)\, dt + \int_{T_i}^{\infty} t \cdot f_{\text{об}.i}(t)\, dt. \qquad (29)$$

Проведем анализ работы пародонтолога в стоматологической клинике на основе пакета Mahtcad.

интервалы прихода (10 мин.)

$$\lambda := \frac{1}{10}$$

$$f(t) := \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

длительность заявки

$$\mu := 2$$

$$k(t) := \mu \cdot e^{-\mu \cdot t}$$

обслуживание в регистратуре

$$\lambda p := 1$$

$$gp(t) := \lambda p \cdot e^{-\lambda p \cdot t}$$

обслуживание в смотровом кабинете

$$\lambda c := \frac{1}{5}$$

$$gc(t) := \lambda c \cdot e^{-\lambda c \cdot t}$$

вероятность направления к пародонтологу

$$pi := 0.2$$

обслуживание у пародонтолога

$$\lambda i := \frac{1}{20}$$

$$gi(t) := \lambda i \cdot e^{-\lambda i \cdot t}$$

вторичный поток к пародонтологу

$$\lambda bt := \frac{1}{30}$$

$$fbt(t) := \lambda bt \cdot e^{-\lambda bt \cdot t}$$

Преобразование Лапласа

$$Gc(s) := \frac{1}{5\cdot\left(s + \frac{1}{5}\right)}$$

$$\lambda c \cdot e^{-\lambda c \cdot t} \text{ laplace}, t \;\rightarrow\; \frac{1}{5\cdot\left(s + \frac{1}{5}\right)} \quad Gp(s) := \frac{1}{s+1} \quad K(s) := \frac{2}{s+2}$$

$$\lambda p \cdot e^{-\lambda p \cdot t} \text{ laplace}, t \rightarrow \frac{1}{s+1} \quad \mu \cdot e^{-\mu \cdot t} \text{ laplace}, t \rightarrow \frac{2}{s+2}$$

Время обслуживания в регистратуре

$$Kp(s) := K(s) \cdot Gp(s) \rightarrow \frac{2}{(s+2)\cdot(s+1)}$$

$$Tp(s) := -\frac{d}{ds} Kp(s) \qquad Tp(0) = 1.5$$

$$\frac{2}{(s+2)\cdot(s+1)} \text{ invlaplace}, s \rightarrow (-2)\cdot e^{(-2)\cdot t} + 2 \cdot e^{-t}$$

$$kp(t) := (-2)\cdot e^{(-2)\cdot t} + 2 \cdot e^{-t}$$

$$\int_{Top}^{Tp(0)} kp(t)\,dt + \int_{Tp(0)}^{\infty} f(t)\,dt \rightarrow e^{-3} - 2 \cdot e^{\frac{-3}{2}} + \left[(-1) + 2 \cdot e^{Top}\right] \cdot e^{(-2)\cdot Top} + e^{\frac{-3}{20}}$$

$$e^{-3} - 2 \cdot e^{\frac{-3}{2}} + \left[(-1) + 2 \cdot e^{Top}\right] \cdot e^{(-2)\cdot Top} + e^{\frac{-3}{20}} - 1 \text{ solve}, Top \rightarrow \left[\begin{array}{c} \ln\left[\frac{1}{2\cdot\left[\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{20} - 2\cdot\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{10} + e^{\frac{-3}{20}} - 1\right]}\cdot\left[(-2) + 2\cdot\left[\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{20} - 2\cdot\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{10} + e^{\frac{-3}{20}}\right]^{\frac{1}{2}}\right]\right] \\ \ln\left[\frac{1}{2\cdot\left[\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{20} - 2\cdot\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{10} + e^{\frac{-3}{20}} - 1\right]}\cdot\left[(-2) - 2\cdot\left[\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{20} - 2\cdot\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{10} + e^{\frac{-3}{20}}\right]^{\frac{1}{2}}\right]\right] \end{array}\right]$$

$$\ln\left[\frac{1}{2\cdot\left[\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{20} - 2\cdot\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{10} + e^{\frac{-3}{20}} - 1\right]}\cdot\left[(-2) - 2\cdot\left[\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{20} - 2\cdot\left(e^{\frac{-3}{20}}\right)^{10} + e^{\frac{-3}{20}}\right]^{\frac{1}{2}}\right]\right] = 1.144$$

$$Top := 1.144$$

Вероятность образования очереди в регистратуре

$$pr := \int_{0}^{Top} f(t)\,dt \rightarrow .10809887592882463445$$

Время ожидания в очереди перед регистратурой

$$tp := \int_{0}^{Top} t \cdot f(t)\,dt \rightarrow .60653873350821726\text{3e-1}$$

Время обслуживания в смотровом кабинете

$$Kc(s) := Gc(s) \cdot K(s) \rightarrow \frac{2}{(5 \cdot s + 1)\cdot(s+2)} \qquad Tc(s) := -\frac{d}{ds} Kc(s) \qquad Tc(0) = 5.5$$

$$\frac{2}{(5 \cdot s + 1)\cdot(s+2)} \text{ invlaplace}, s \rightarrow \frac{2}{9} \cdot e^{\frac{-1}{5}\cdot t} - \frac{2}{9} \cdot e^{(-2)\cdot t}$$

$$kc(t) := \frac{2}{9} \cdot e^{\frac{-1}{5}\cdot t} - \frac{2}{9} \cdot e^{(-2)\cdot t}$$

$$\int_{Toc}^{Tc(0)} kc(t)\,dt + \int_{Tc(0)}^{\infty} f(t)\,dt \rightarrow \frac{-10}{9}\cdot e^{\frac{-11}{10}} + \frac{1}{9}\cdot e^{-11} + \left(\frac{10}{9}\cdot e^{\frac{9}{5}\cdot Toc} - \frac{1}{9}\right)\cdot e^{(-2)\cdot Toc} + e^{\frac{-11}{20}}$$

$$\frac{-10}{9}\cdot e^{\frac{-11}{10}} + \frac{1}{9}\cdot e^{-11} + \left(\frac{10}{9}\cdot e^{\frac{9}{5}\cdot Toc} - \frac{1}{9}\right)\cdot e^{(-2)\cdot Toc} + e^{\frac{-11}{20}} - 1 \text{ solve}, Toc \rightarrow \begin{bmatrix} (-1.5075716290784555740) - 14.026917198587931655\cdot 1i \\ (-1.5075716290784555740) + 14.026917198587931655\cdot 1i \\ (-1.4506021453072990122) - 10.660003820294805166\cdot 1i \\ (-1.4506021453072990122) + 10.660003820294805166\cdot 1i \\ (-1.3235549567963338661) - 7.2736397011503770920\cdot 1i \\ (-1.3235549567963338661) + 7.2736397011503770920\cdot 1i \\ (-1.0871099028619538777) - 3.8219007267813646826\cdot 1i \\ (-1.0871099028619538777) + 3.8219007267813646826\cdot 1i \\ -.75007642865607543850 \\ 1.6618895340009906434 \end{bmatrix}$$

$$Toc := 1.66$$

Вероятность образования очереди перед смотровым кабинетом

$$pc := \int_{Top}^{Toc} f(t)\,dt \rightarrow .44854889881775705 25e\text{-}1 \qquad pc := 0.045$$

Время ожидания в очереди перед смотровым кабинетом

$$tc := \int_{Top}^{Toc} t\cdot f(t)\,dt \rightarrow .62787036000778234 6e\text{-}1 \qquad tc := 0.063$$

Редеющий поток к пародонтологу и объединение потоков, вторичный поток

$$fbt(t) := \lambda bt\cdot e^{-\lambda bt\cdot t} \qquad Fbt(t) := \int_{0}^{t} fbt(\tau)\,d\tau \rightarrow \left(-e^{\frac{-1}{30}\cdot t}\right) + 1$$

$$Fbt(t) := 1 - e^{\frac{-1}{30}\cdot t} \qquad Hbt(t) := e^{\frac{-1}{30}\cdot t}$$

Расчет редеющего потока

$$\lambda c := \frac{1}{Tc} \qquad fc(t) := \lambda c\cdot e^{-\lambda c\cdot t}$$

$$\lambda c := \frac{1}{Tc} \qquad fc(t) := \lambda c\cdot e^{-\lambda c\cdot t}$$

$$\lambda c\cdot e^{-\lambda c\cdot t} \text{ laplace}, t \rightarrow \frac{.96525096525096525097e\text{-}1}{s + .96525096525096525097e\text{-}1}$$

$$Fc(s) := \frac{.96525096525096525097e\text{-}1}{s + .96525096525096525097e\text{-}1}$$

$$\Theta(k) := \frac{pi\cdot Fc(k)}{1 - qi\cdot Fc(k)} \qquad k := pi\cdot s$$

$$\Theta(k) \rightarrow \frac{.19305019305019305019e\text{-}1}{(.2\cdot s + .96525096525096525097e\text{-}1)\cdot\left(1 - \frac{.77220077220077220078e\text{-}1}{.2\cdot s + .96525096525096525097e\text{-}1}\right)}$$

$$T\Theta(k) := -\frac{d}{dk}\Theta(k)$$

$$T\Theta(0) = 51.8$$

Выполним обратное преобразование Лапласа с учетом теоремы подобия

$$\frac{.19305019305019305019e\text{-}1}{\left(\frac{.2\cdot s}{0.2} + .96525096525096525097e\text{-}1\right)\cdot\left(1 - \frac{.77220077220077220078e\text{-}1}{.2\cdot\frac{s}{0.2} + .96525096525096525097e\text{-}1}\right)} \text{ invlaplace}, s \rightarrow .19305019305019305019e\text{-}1 \cdot e^{(-.19305019305019305019e\text{-}1)\cdot t}$$

$$fc\Theta(t) := .19305019305019305019e\text{-}1\cdot e^{(-.19305019305019305019e\text{-}1)\cdot t}$$

$$Hc\Theta(t) := 1 - \int_0^t fc\Theta(\tau)\,d\tau \rightarrow 1.\cdot e^{(-.19305019305019305019e\text{-}1)\cdot t}$$

Объединение потоков

$$Hob(t) := Hc\Theta(t)\cdot Hbt(t)$$

Плотность объединенного потока

$$fob(t) := -\frac{d}{dt}Hob(t) \rightarrow .52638352638352638352e\text{-}1 \cdot e^{(-.19305019305019305019e\text{-}1)\cdot t}\cdot e^{\frac{-1}{30}\cdot t}$$

$$.52638352638352638352e\text{-}1 \cdot e^{(-.19305019305019305019e\text{-}1)\cdot t}\cdot e^{\frac{-1}{30}\cdot t} \text{ simplify} \rightarrow .52638352638352638352e\text{-}1 \cdot e^{(-.52638352638352638352e\text{-}1)\cdot t}$$

$$fob(t) := 0.0526\cdot e^{(-0.0526)\cdot t}$$

Интервал подхода пациентов объединенного потока к пародонтологу

$$\frac{1}{0.0526} = 19.011$$ мин.

Кабинет пародонтолога

$$k(t) := \mu\cdot e^{-\mu\cdot t} \qquad gi(t) := \lambda i\cdot e^{-\lambda i\cdot t}$$

$$\mu\cdot e^{-\mu\cdot t} \text{ laplace}, t \rightarrow \frac{2}{s+2} \qquad K(s) := \frac{2}{s+2}$$

$$\lambda i\cdot e^{-\lambda i\cdot t} \text{ laplace}, t \rightarrow \frac{1}{20\cdot\left(s+\frac{1}{20}\right)} \qquad Gi(s) := \frac{1}{20\cdot\left(s+\frac{1}{20}\right)}$$

$$Ki(s) := Gi(s)\cdot K(s) \rightarrow \frac{2}{(20\cdot s+1)\cdot(s+2)}$$

Среднее время обслуживания у пародонтолога

$$Ti(s) := -\frac{d}{ds}Ki(s)$$

$$Ti(0) = 20.5$$

Нормировка функции распределения интервалов освобождения пародонтолога дает величину 0,208 мин., указывая на то, что во вторичном потоке больных есть небольшие интервалы между пациентами.

$$\int_{Toi}^{Ti(0)} k(t)\,dt + \int_{Ti(0)}^{\infty} fob(t)\,dt \rightarrow \left(-e^{-41}\right) + e^{(-2)\cdot Toi} + .340173329032260461\,80$$

$$\left[\left(-e^{-41}\right) + e^{(-2)\cdot Toi} + .34017332903226046180 - 1\right] \text{ solve}, Toi \rightarrow .20788904909905960\,0$$

$$Toi := 0.208$$

Среднее время ожидания приема врача

$$\int_0^{Ti(0)} t\cdot k(t)\,dt + \int_{Ti(0)}^{\infty} t\cdot fob(t)\,dt = 13.941 \qquad ti := 13.941$$

Пародонтолог за 8-часовой день, обслуживая в среднем одного пациента за 20,5 мин., примет:

$$\frac{8 \cdot 60}{20.5} = 23.415 \text{ чел.}$$

Таким образом, пародонтолог может принять за рабочий день в среднем 23 пациента, из них 9 первичных больных.

Список литературы

1. Таранцев А. А. Инженерные методы теории массового обслуживания. СПб. : Наука, 2007. 250 с.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М. : AKADEMIA, 2003. 571 с.
3. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. М. : Изд-во ЛКИ, 2007. 400 с.
4. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Методы теории функций комплексного переменного. М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1958. 678 с.
5. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М. : Машиностроение, 1979. 432 с.

Ссылка для цитирования:
Холодов Ю. В. Многофазная система массового обслуживания с вторичными потоками // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 2 (12). С. 72–78.

УДК 721+72.02

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ BUILDING INFORMATION MODELING В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ

Ю. А. Лежнина, Т. В. Хоменко
Астраханский инженерно-строительный институт

Рассмотрена технология информационного моделирования зданий, которая относится к передовым инновационным технологиям строительства во многих странах мира, так как позволяет использовать структурированную информацию об объекте проектирования для анализа поведения этого объекта на всех этапах жизненного цикла – от проектирования до разрушения. Показано, что обучение бакалавров по строительным специальностям с использованием данной технологии повышает качество образования в строительном вузе.

Ключевые слова: *информационное моделирование зданий, образование, новые информационные технологии.*

THE PROBLEMS OF INTRODUCE OF NEW INFORMATION TECHNOLOGIES BUILDING INFORMATION MODELING IN INSTITUTE OF CIVIL ENGINEERING

Yu. A. Lezhnina, T. V. Homenko
Astrakhan Institute of Civil Engineering

The technology of building information modeling refers to innovative construction technologies in many countries, as it allows to use structured information about the object of design to analyze the behavior of this object at all stages of the life cycle from design to destruction. It is shown that the training of bachelors in construction using this technology improves the quality of education in the University of civil engineering.

Key words: *Building information modeling, education, new information technologies.*

Промышленное и гражданское проектирование – сложный и творческий процесс, скорость которого существенно зависит от степени автоматизации. Использование тех или иных информационных систем способно улучшить качество полученных цифровых моделей объектов строительства, достигнуть взаимосвязи проектной модели и процесса строительства.

Информационные технологии непрерывно влияют на процесс проектирования. От ручного проектирования карандашом на бумаге организации переходят к компьютерному. Дальше степень использования компьютерных программ зависит от возможностей самих этих программных комплексов и переводит процесс проектирования на качественно новый уровень. Разрабатываются программы, поддерживающие информационное моделирование. Информационное моделирование является новой технологией проектирования, которая начала завоевывать строительный рынок. Ее появление связано с желанием проектировщиков получить как можно больше возможностей от одной программы, а также с потенциалом информационной индустрии, характеристиками компьютеров и программного обеспечения. Сейчас уже однозначно можно сказать, что программы, поддерживающие работу с информационными моделями, постепенно вытесняют программы, позволяющие делать только 2D и 3D цифровые модели. Это связано с тем, что при помощи информационной системы можно преобразовать бизнес-процессы строительной индустрии в единую среду, а также реализовать подходы бережливого строительства на базе эффективного и экономичного отношения к проектным решениям и ресурсам. Помимо всего прочего, проекты, полученные с помощью информацион-